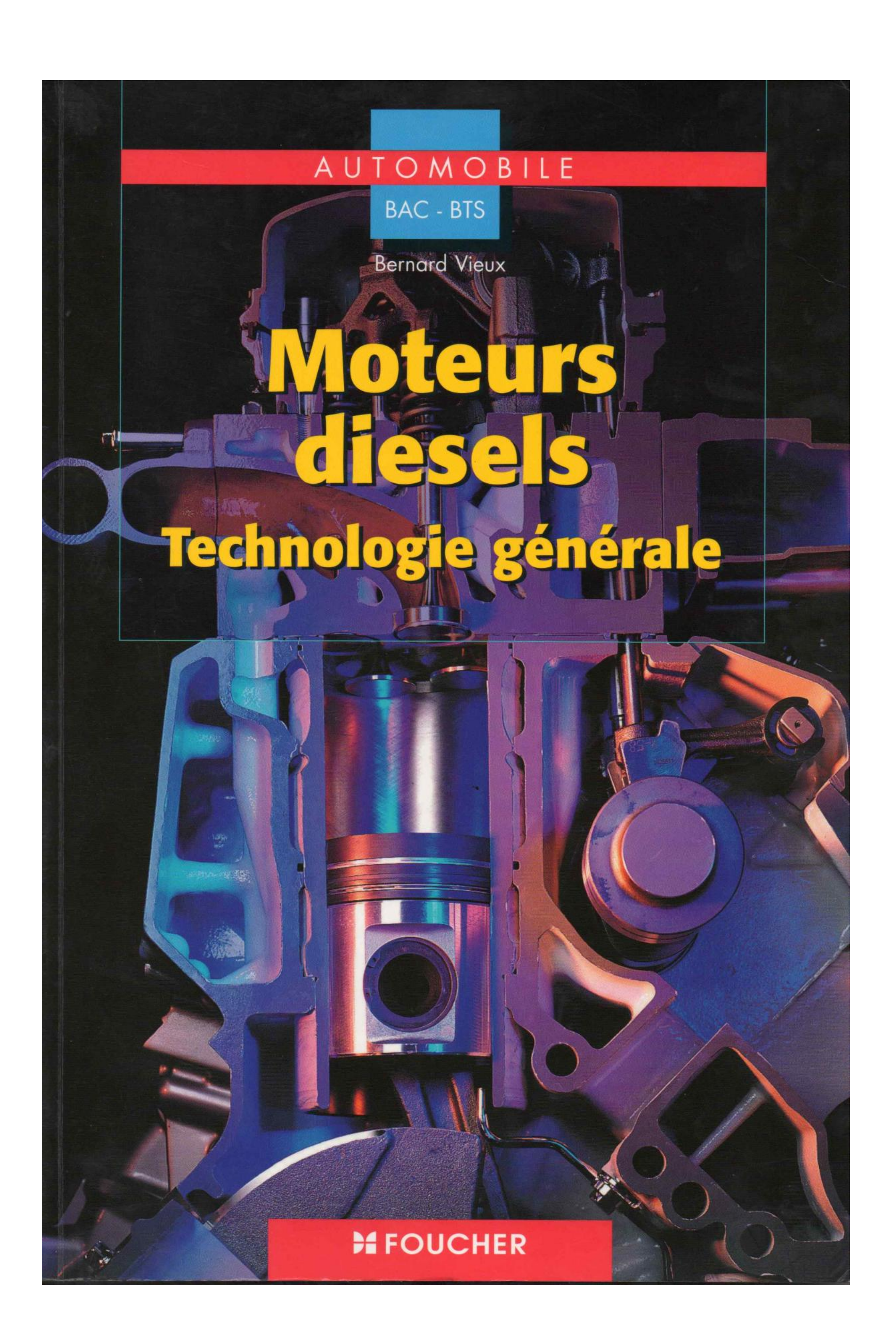
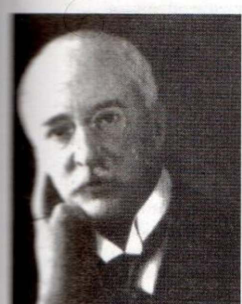

AUTOMOBILE
BAC - BTS
Bernard Vieux
Moteurs diesels
Technologie générale
FOUCHER

Historique du moteur diesel

Diesel et son œuvre



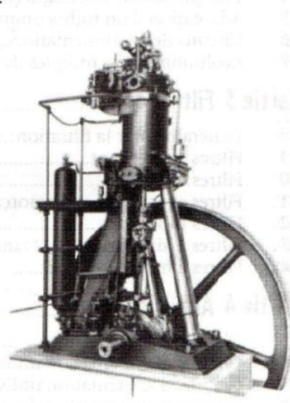
De parents allemands, Rodolphe Diesel est né le 18 mars 1858, rue Notre-Dame-de-Nazareth à Paris dans le troisième arrondissement [1].

Il fit ses premières études en France, puis en Allemagne à Augsbourg où il passe avec succès sa thèse d'ingénieur.

De retour en France en 1880, il ouvre un cabinet d'ingénieur-conseil à Paris en 1887. Dès lors, il se consacre entièrement à l'étude du moteur thermique qui devait porter son nom.

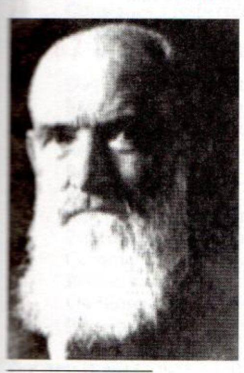
Ne trouvant pas de commanditaires dans notre pays, R. Diesel retourne en Allemagne où, à la « Fabrique de machines d'Augsbourg » qui deviendra la firme « MAN-KRUPP », il entreprend la construction des premiers moteurs « Diesel ». Prévus pour fonctionner au charbon pulvérisé introduit par jet d'air comprimé, ces moteurs ne fonctionnèrent jamais de façon satisfaisante.

En 1897, il fabrique un moteur monocylindrique, d'une puissance de 20 ch à 172 tr/min, à injection de combustible [2]. L'alésage de ce moteur était de 250 mm, la course de 400 mm, et sa consommation spécifique de 257 grammes par cheval et par heure. Le rendement thermique était de 26,2 %, alors qu'à cette époque le rendement de la machine à vapeur était à peine de 10 % et celui des moteurs à essence de 20 % environ.



Le 29 septembre 1913, Diesel devait disparaître en mer, à bord du paquebot allemand Dresden, dans des conditions assez ténébreuses, alors qu'il se rendait en Angleterre pour traiter avec la firme Vickers.

Robert Bosch (1861-1942)



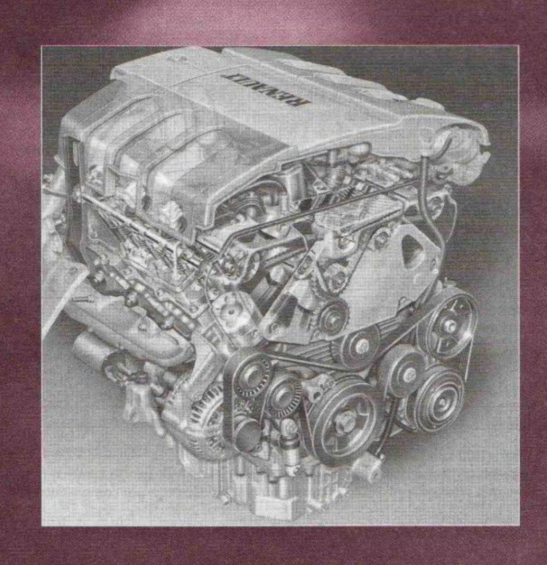
Le développement rapide du moteur de l'ingénieur « Diesel » a été rendu possible par l'invention de la « pompe d'injection mécanique avec pistons à entailles » par Robert Bosch et Frantz Lang (recherches entre 1922 et 1925, et début de série aux usines Bosch en 1927).

Huitième d'une famille de douze enfants, de père restaurateur, Robert Bosch, après un apprentissage dans divers ateliers de mécanique de précision en Allemagne traversa l'Atlantique en 1884, et travailla un an aux États-Unis chez Bergmann. Revenu en Allemagne, il fondera, à Stuttgart, sa propre société, en débutant avec un ouvrier et un apprenti.

1. Diesel passa vingt-trois des cinquante-cinq années de sa vie à Paris.
2. Essence de pétrole pour les premiers allumages, pétrole lourd ensuite (injection assurée par un jet d'air comprimé).

Table des matières

Présentation des moteurs diesels



1 Moteur diesel comparé au moteur à essence (cycle 4 temps)

1 Principe

La différence essentielle entre un moteur du type diesel et un moteur à essence réside dans le mode d'inflammation du carburant et de la caractéristique d'auto-inflammation de celui-ci.

Si, dans une masse d'air suffisamment comprimée, pour que sa température atteigne une valeur déterminée, on introduit dans un endroit précis, un combustible adapté, finement pulvérisé, la combustion se déclenche par auto-inflammation (l'explosion, qui est en réalité une combustion très rapide, est réalisée dans le moteur à essence par allumage commandé).

Le phénomène d'auto-inflammation résulte lui-même :
- d'un *rapport volumétrique* très élevé : 1/16 à 1/28 ;
- de la haute température engendrée par ce rapport (≅ 600 °C) ;
- de la qualité du carburant et la finesse de la pulvérisation (pression d'injection, caractéristique de l'injecteur) ;
- de la rapidité de formation du mélange « air chauffé/carburant » (qualité du tourbillon d'air, ou « swirl » dans la *chambre de combustion*).

2 Tableau comparatif

Temps du cycle (fig. 1.1)	Fonctions assurées dans le *moteur diesel*	Organes en fonctionnement	Fonctions assurées dans le moteur à essence	Organes en fonctionnement
1) *Admission*	Aspiration d'air	Soupapes d'admission	Aspiration d'un mélange. Air essence préparé et dosé par un carburateur ou un système d'injection	Soupapes d'admission, *injecteurs* du carburateur
2) *Compression*	Très forte (20 à 35 bar**). Compression de l'air d'où échauffement intense à 600 °C environ. Rapport volumétrique de 1/16 à 1/28		Compression du mélange 8 à 12 bar d'où échauffement à 300 °C environ. Rapport voumétrique 1/6 à 1/15	
En fin de course de *compression*	Injection (1 ou 2) sous forte pression (120 à 2 000 bar**) du carburant qui s'enflamme spontanément au contact de l'air surchauffé = combustion***	Pompe haute pression. Injecteurs	Allumage du mélange. Étincelle (arc) électrique à la bougie = explosion***	Système d'allumage, bougies d'allumage
3) Combustion ou explosion	Combustion et détente		Combustion et détente	
4) *Échappement*	Évacuation des gaz brûlés. Postinjection possible	Soupapes d'échappement, catalyseur	Évacuation des gaz brûlés	Soupapes d'échappement, catalyseur

Tableau 1.1. Comparaison du cycle diesel avec essence à 4 temps

** 1 bar = 100 kPa (ou 10^5 Pa).

*** La vitesse de l'air lors du début de combustion, ou à l'explosion, est de : 50 m/s dans un moteur à allumage commandé (essence) ; 1 200 m/s dans un moteur à allumage par compression (diesel).

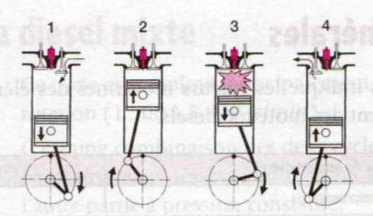


Figure 1.1. Les quatre temps du cycle

3 Avantages du *moteur diesel*

- Le rendement (rapport entre l'énergie utilisable et l'énergie fournie à la machine) est meilleur : le *taux de compression* étant plus élevé, une proportion plus grande de chaleur est convertie en *travail.*
  En outre, la consommation spécifique est en moyenne de moins de 200 g/kW/h au lieu de 300 g/kW/h pour le moteur à allumage commandé (explosion).
  Rendement thermique moyen du moteur diesel = 0,35 à 0,38 en version aspiré ; > à 0,40 en version suralimenté ; et actuellement > à 0,45 en équipement turbo-compound **(fiche 17)**.
- Le *couple moteur* est plus important et il reste sensiblement constant pour les faibles vitesses.
- Le carburant employé est avantagé fiscalement dans certains pays.
- Les risques d'incendie sont moindres car le point d'inflammation du gazole est plus élevé que celui de l'essence.
- Les gaz d'échappement sont beaucoup moins toxiques car ils contiennent moins d'oxyde de carbone (la combustion est plus complète), les particules sont maintenant filtrées.
- Le moteur diesel est le plus adapté à la suralimentation, contrairement au moteur à allumage commandé où la température de fin de compression est limitée par l'indice d'octane de l'essence.

4 Inconvénients du moteur diesel

- Les organes du moteur sont largement calculés, car ils sont soumis à des températures élevées et à des pressions très fortes (de 50 bar à 60 bar) (1 bar = 100 kPa, ou 10^5 Pa).
  Ces pressions peuvent atteindre 120 à 150 bar s'il se produit un raté d'inflammation et beaucoup plus sur un système haute pression **(fiche 88)**.
- L'étanchéité entre le cylindre et le piston est plus difficile à réaliser.
- L'aptitude au démarrage à froid est moins bonne que pour un moteur à allumage commandé.
- Il faut assurer un refroidissement suffisant du moteur pour obtenir une bonne tenue des métaux.
- Le graissage est plus délicat du fait des hautes températures atteintes et des charges plus fortes des organes mobiles.
- Le moteur est plus coûteux à l'achat (les organes d'injection demandent un usinage délicat et très précis).
- Le fonctionnement du diesel est plus bruyant que celui du moteur à essence, et l'on y perçoit aisément un bruit de fonctionnement caractéristique, dû aux fortes pointes de pression dans les cylindres. Des progrès importants ont cependant été réalisés avec les systèmes « à rail commun » (appelés *common rail*).
- Problème de *viscosité* du carburant par très basses températures.

5 Caractéristiques générales

Le tableau ci-dessous indique les valeurs moyennes des éléments qui conditionnent le fonctionnement des moteurs diesels.

Éléments du moteur diesel	Valeurs moyennes
Rapport volumétrique (*taux de compression* ρ)	16 à 28
Pression de l'air en fin de compression	30 à 35 bar
Température de l'air en fin de compression	500 à 600 °C
Pression d'injection aux injecteurs	120 à 2 000 bar
Avance à l'injection (en degrés moteur)	10 à 40°
Période d'injection (angulaire en degrés moteur)	20 à 40°
Durée de l'injection	1 à 4/1 000 seconde
Dosage combustible-air à pleine charge en poids	1/24 à 1/30
Vitesse de rotation maximale grandes cylindrées, petites cylindrées	1 000 à 3 200 tr/min, 4 000 à 5 400 tr/min
Consommation spécifique	180 à 250 g/kW/h

Tableau 1.2. Caractéristiques générales des moteurs diesels

Dysfonctionnements

- **Le moteur diesel est en majorité très fiable sur les PL, VL, et la durée de vie est liée à l'entretien et à la qualité des lubrifiants et de carburant employés.**
- **L'eau ou les « bactéries » présentes dans le carburant provoquent les principales pannes.**
- **Le turbocompresseur est source de pannes si les précautions de conduite et d'entretien ne sont pas respectées.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- D'énormes progrès ont été réalisés sur ce moteur, aussi bien sur la consommation, la pollution, l'agrément de conduite, le bruit, et le rendement, notamment avec les dernières techniques d'injection.
- Le rendement est tel qu'il est courant de rencontrer un système de réchauffage du circuit de refroidissement, les pertes thermiques n'étant plus suffisantes pour maintenir le moteur à température **(fig. 1.2)**.

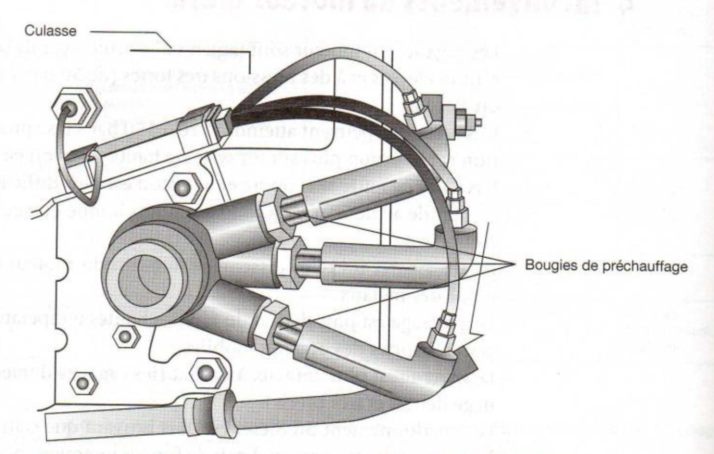


Figure 1.2. Pilotage par le calculateur d'injection des bougies de chauffe du circuit de refroidissement *(Doc. VAG)*

6 Cycle diesel mixte

Ce cycle est employé principalement sur les diesels modernes à grande vitesse de rotation (1 500 à 5 800 tr/min).

C'est une combinaison des deux cycles classiques (à pression constante et volume constant) dans lesquels une partie du combustible brûle à volume constant et l'autre partie à pression constante.

Le cycle mixte se rapproche plus ou moins de l'un des deux cycles classiques selon les réglages déterminés lors des essais qui déterminent l'injection. Le cycle à volume constant donne un rendement meilleur et le cycle à pression constante permet la construction de moteurs plus légers puisque la pression maximale est plus faible **(fig. 1.3)**.

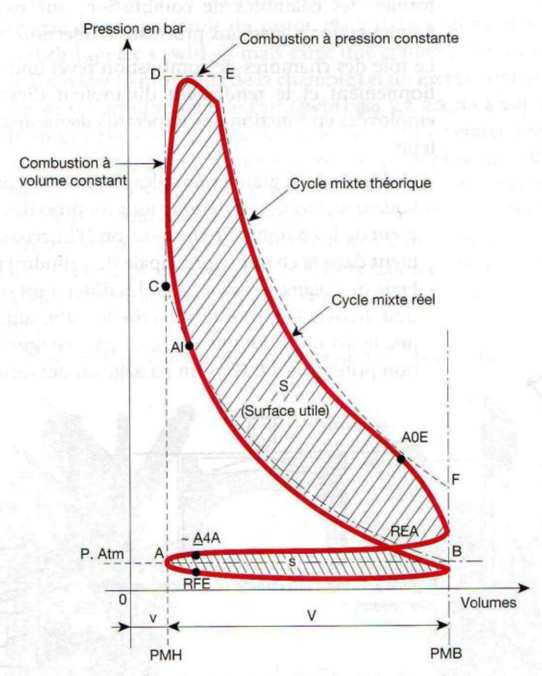


Figure 1.3. Cycle diesel mixte. Énergie disponible par cycle : W = S – s

Classification des moteurs diesels

La combustion dans un moteur diesel doit être la plus complète possible, pour générer un maximum d'énergie, avec un minimum de consommation et de rejets *polluants*, et un maximum de confort de conduite pour l'utilisateur.

Les ingénieurs maîtrisent de mieux en mieux les processus complexes de cette phase, et, au fil des années, ont apporté diverses et importantes modifications aux formes des chambres de combustion, aux *conduits d'admission*, aux matériaux employés, mais aussi aux processus d'injection.

Le rôle des chambres de combustion revêt une importance capitale pour le fonctionnement et le rendement du moteur diesel et plusieurs technologies sont employées en fonction des impératifs *thermodynamiques* ou de choix des constructeurs.

Il se dégage deux grandes familles de types de combustion :
- l'*injection directe*, qui désigne tous les procédés ne comportant pas de fractionnement de la chambre de combustion (l'injecteur pulvérise le combustible directement dans la chambre principale du cylindre) **(fig. 2.1 à 2.3)** ;
- l'*injection indirecte*, regroupant les différentes solutions de chambres de combustion divisées (l'injecteur pulvérise le carburant dans une chambre auxiliaire où a lieu le début de combustion), les gaz rejoignent ensuite la chambre de combustion principale à travers un passage ou des canaux de liaison.

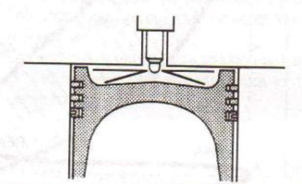


Figure 2.1. Injection directe pour moteurs lents *(Doc. Bosch)*

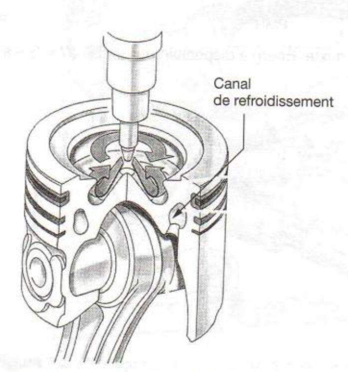


Figure 2.2. Piston à double turbulence Ivéco (moteur Cursor)

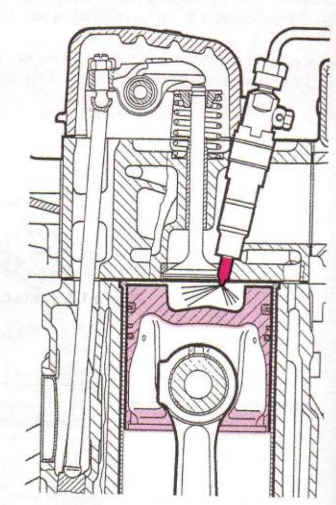


Figure 2.3. Injection directe *(Doc. MAN)*

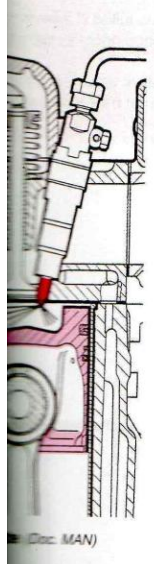
Moteur à injection directe

1 Techniques de combustion

Deux techniques de combustion sont employées :

- par énergie des jets d'injecteur **(fig. 2.1)** utilisé dans les gros moteurs lents ; l'injecteur central comporte de 6 à 8 trous, pulvérise le combustible (tarage 250 à 450 bar (1 bar = 100 kPa)), à la circonférence de la chambre de combustion de grand diamètre et peu profonde du piston **(fig. 2.1)**. Le système fonctionne sans tourbillon d'air (appelé « swirl »), mais exige une grande précision du positionnement de l'*injecteur* (à proximité de la chambre) et un excès d'air très important ;
- par mouvement tourbillonnant de l'air (swirl) **(fig. 2.2, 2.3, 3.1 à 3.4)**. C'est le procédé le plus utilisé sur tous les moteurs modernes, le mouvement tourbillonnant de l'air, qui doit atteindre 150 mètres/seconde (soit plus de 500 km/h), est amorcé par la forme, la longueur, le positionnement du *conduit d'admission* **(fig. 3.1 à 3.3)**, le nombre de soupapes d'admission. La chambre de combustion dans le piston est plus réduite **(fig. 2.3, 3.3 et 3.4)**, et comporte une forme variable selon le constructeur. C'est un procédé en perpétuelle évolution en fonction de la normalisation antipollution afin d'améliorer sans cesse l'homogénéité du mélange air-carburant.

L'injecteur utilisé est type à trous, le plus souvent multiples (3 à 8).



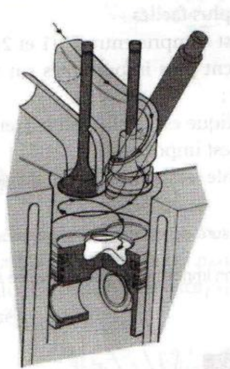


Figure 3.1. Amorçage du mouvement tourbillonnant de l'air (swirl)

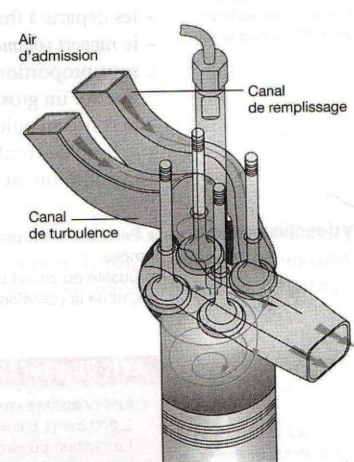


Figure 3.2. Exemple de nouveau concept au niveau des canaux d'admission, sur un moteur à 4 soupapes par cylindre :
– la forme du canal de « turbulence » donne le mouvement tourbillonnant à l'air d'admission ;
– la forme du canal de remplissage optimise l'arrivée d'air du cylindre à régimes élevés
(Doc. VAG)

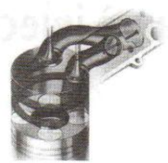


Figure 3.3. Moteur à 4 soupapes par cylindre, dont 2 d'admission, avec 1 conduit d'admission de forme différente par soupape, équipés de volets à commande pneumatique (turbulence augmentée à bas régimes) *(Doc. OPEL)*

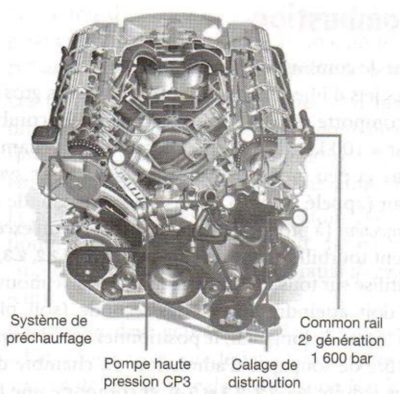


Figure 3.4. Vue en coupe du moteur BMW « M67 », injection directe, rail commun

2 Avantages, inconvénients

Sur un moteur à injection directe :

- les départs à froid sont plus faciles ;
- le *rapport volumétrique* est compris entre 17/1 et 26/1, mais les pertes thermiques sont proportionnellement plus importantes sur un moteur de faible cylindrée, que sur un gros moteur ;
- la consommation spécifique est la plus faible (rendement optimal) ;
- le bruit de combustion est important ;
- la pollution est plus faible, et maintenant maîtrisée.

Dysfonctionnements

- **Perte de compression par usure du moteur, entraînant des démarrages difficiles, et des fumées.**
- **Qualité du circuit d'admission importante ; une mauvaise turbulence entraîne des fumées noires, et de la pollution.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les pressions employées, de 180 à 350 bar, il y a quelques années, sont passées à 1 300 à 2 200 bar (1 bar = 100 kPa), avec les nouvelles technologies **(fiches 78, 82)**.
- La gestion du circuit d'air d'admission avec des conduits multiples équipés de volets pilotés par le calculateur électronique a permis une réduction sensible de la pollution.
- Le bruit, principal inconvénient de ce type de combustion **(fig. 3.5)**, est maintenant maîtrisé grâce à des procédés d'injection en plusieurs phases **(fiches 77, 78, 82)**.

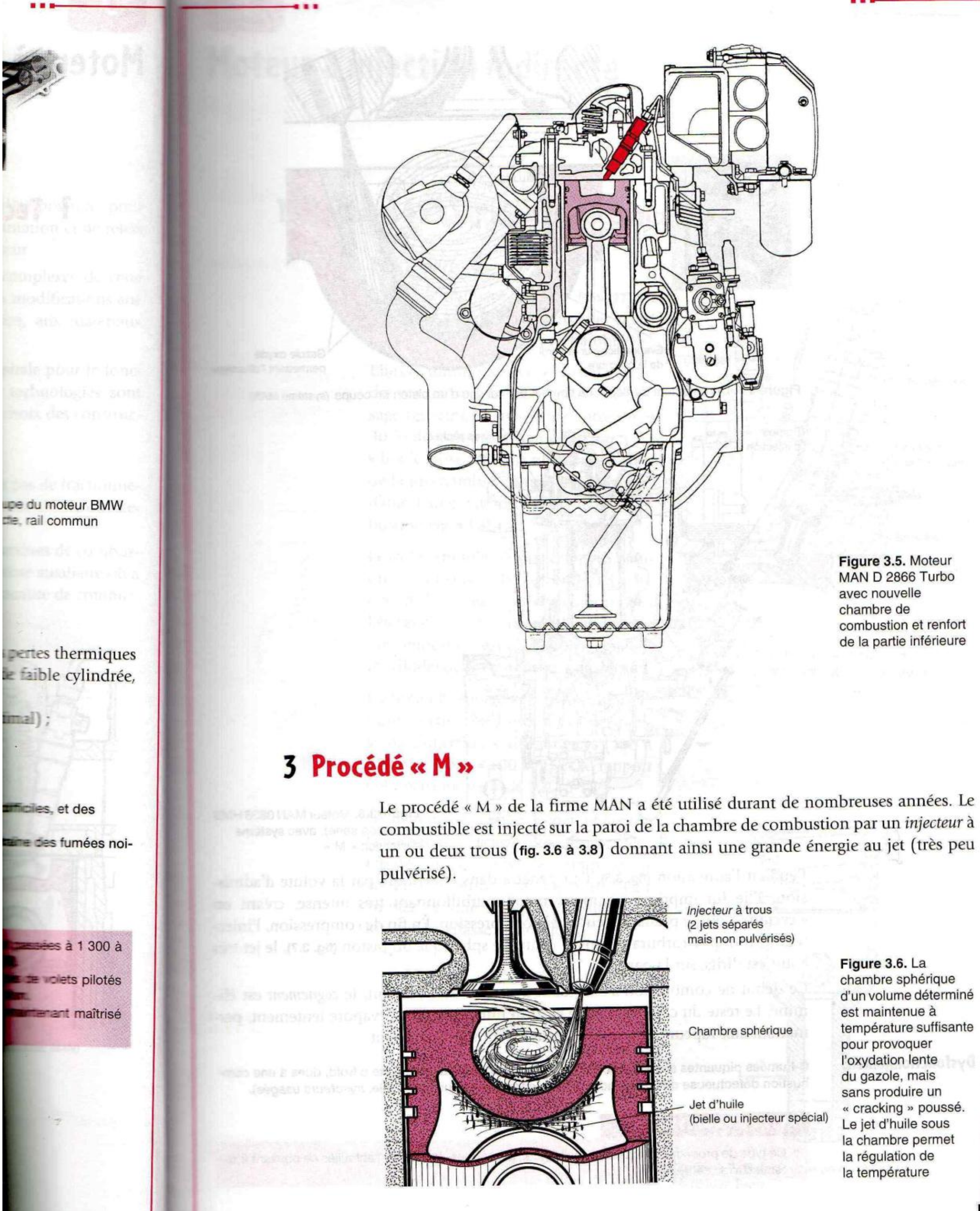


Figure 3.5. Moteur MAN D 2866 Turbo avec nouvelle chambre de combustion et renfort de la partie inférieure

3 Procédé « M »

Le procédé « M » de la firme MAN a été utilisé durant de nombreuses années. Le combustible est injecté sur la paroi de la chambre de combustion par un *injecteur* à un ou deux trous **(fig. 3.6 à 3.8)** donnant ainsi une grande énergie au jet (très peu pulvérisé).

Figure 3.6. La chambre sphérique d'un volume déterminé est maintenue à température suffisante pour provoquer l'oxydation lente du gazole, mais sans produire un « cracking » poussé. Le jet d'huile sous la chambre permet la régulation de la température

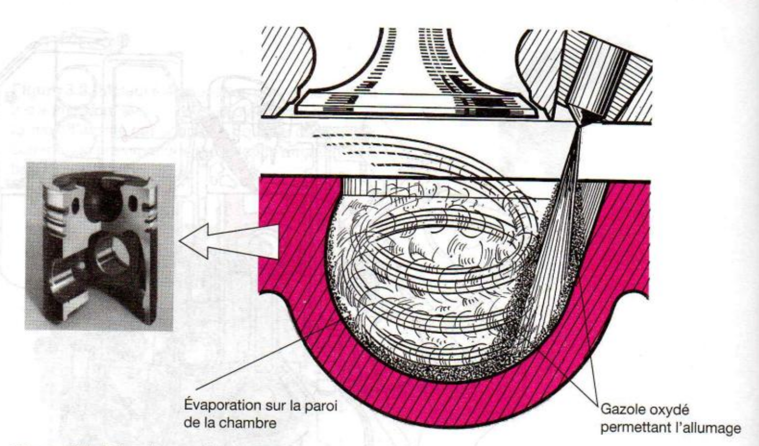


Figure 3.7. Déroulement du début de combustion, et vue d'un piston en coupe *(système MAN)*

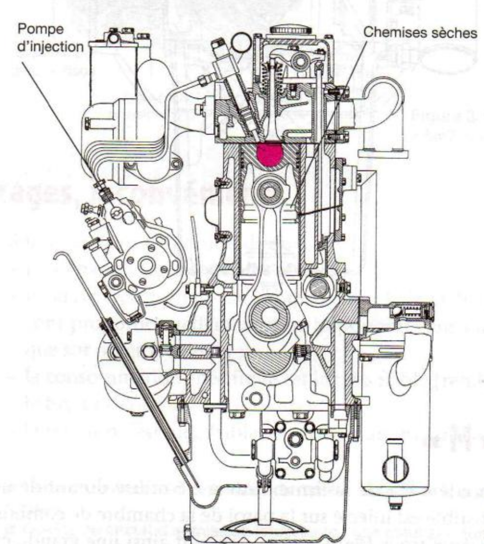


Figure 3.8. Moteur MAN 0836 HM8 (ancienne série), avec système d'injection « M »

Pendant l'admission **(fig. 3.6)**, l'air pénètre dans le cylindre par la volute d'admission. Elle lui imprime un mouvement tourbillonnant très intense, créant un « cyclone » qui se poursuit pendant la compression. En fin de compression, l'injecteur introduit le carburant dans la chambre sphérique du piston **(fig. 3.7)**, le jet très court est dirigé sur la paroi.

Ce début de combustion s'effectuant avec peu de carburant, le *cognement* est éliminé. Le reste du carburant étalé en film mince **(fig. 3.7)**, s'évapore lentement, permettant aux vapeurs de se mélanger avec l'air tourbillonnant.

Dysfonctionnement

- **Fumées piquantes aux yeux en fonctionnement au ralenti, et intense à froid, dues à une combustion défectueuse dès le moindre défaut (compression un peu faible, *injecteurs usagés*).**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Ce type de procédé est maintenant obsolète, les normes de pollution actuelles ne pouvant être tenues avec ce système.

Moteur à injection indirecte

1 Moteurs à chambre de précombustion

1.1 Particularités

L'injecteur du type à « téton » **(fiche 77)** est placé sur la culasse et dans une cavité non refroidie appelée « préchambre ».

Elle communique avec le haut du cylindre par un ou plusieurs orifices de passage restreint, et représente entre 20 et 30 % du volume de compression. Une « boule brise jet » est placée en travers de la préchambre, pour « éclater » le jet d'injecteur et favoriser le début de combustion **(fig. 4.1 et 4.2)**.

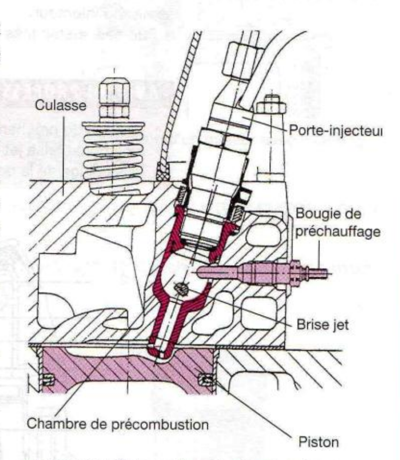


Figure 4.1. Moteur diesel à chambre de précombustion et bougie de chauffe rapide « crayon » *(Doc. Mercédès-Benz)*

Le carburant injecté dans cette préchambre commence à brûler puisqu'il contient de l'air préalablement comprimé et l'élévation de pression résultant de cette précombustion expulse le mélange vers le cylindre où la combustion se poursuit.

Cette combustion étagée assure un fonctionnement moins bruyant car les pressions d'injection sont modérées (100 à 150 bar, 1 bar = 100 kPa) et le rapport volumétrique varie de 12/1 à 15/1.

Le démarrage s'opère généralement à l'aide d'une *bougie de préchauffage* rapide car le taux de compression adopté ne permet pas de porter l'air ambiant à une température suffisante lorsque la culasse est froide.

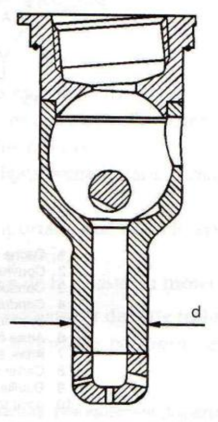


Figure 4.2. Préchambre de combustion Mercédès-Benz

1.2 Avantages et inconvénients

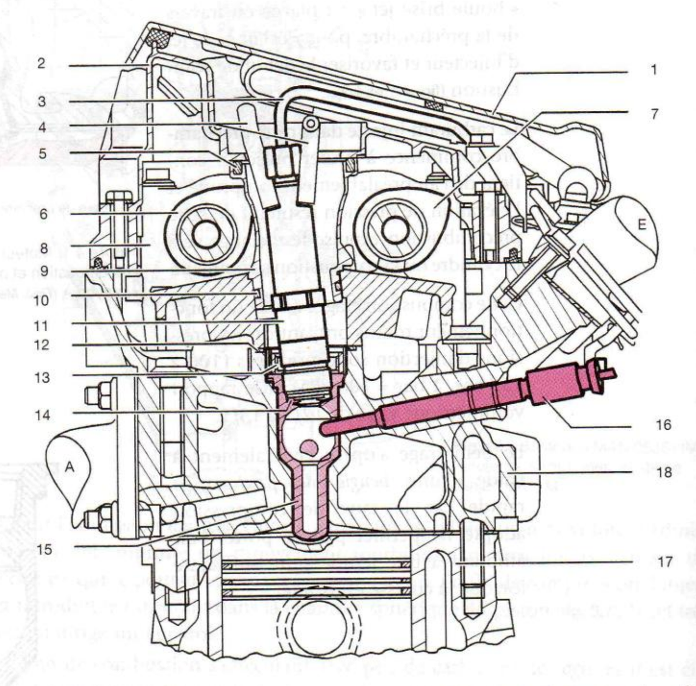
- Le bruit de fonctionnement est très faible.
- Le système d'injection est moins sollicité que sur un moteur à injection directe (tarage des injecteurs plus faible).
- La souplesse de fonctionnement est très bonne.
- La consommation spécifique est élevée, et le rendement faible.
- Un dispositif de *pré/postchauffage* ainsi qu'une modification du point d'injection sont nécessaires pour le démarrage à froid de ce moteur.

Dysfonctionnements

- **Claquements et vibrations au ralenti moteur, suite à un défaut de préchambre, ou à un encrassement d'injecteur.**
- **Fumées, instabilités suite au calaminage des injecteurs.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Ce type de préchambre est interchangeable sur la culasse (accessible de l'extérieur).
- La « boule brise jet » **(fig. 4.1 et 4.2)** à l'intérieur de la préchambre est très sensible à un mauvais calage de la pompe d'injection (destruction dès que le point d'avance est trop fort).



1 Cache de couvre-culasse
2 Couvre-culasse
3 Conduite d'injection
4 Conduites d'huile de fuite
5 Joint torique
6 Arbre à cames d'échappement
7 Arbre à cames d'admission
8 Carter d'arbres à cames avec couvercle de palier
9 Douille-recouvrement de gaine
10 Joint torique
11 Porte-injecteur (serrage sur culasse 40 Nm)
12 Joint torique d'étanchéité du carter d'arbre à cames
13 Bague filetée
14 Joint d'injecteur
15 Préchambre
16 Bougie-crayon de préchauffage
17 Carter-cylindres
18 Culasse
A Canal d'échappement
E Canal d'admission

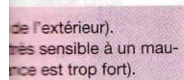
Figure 4.3. Moteur Mercédès-Benz OM 605, à préchambre de combustion *(Doc. Mercédès-Benz)*

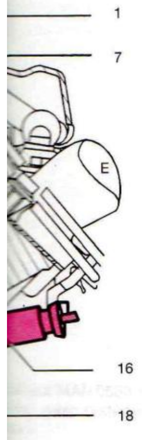
ɪ à injection directe

le.
du point d'injection

ambre, ou à un encras-

de l'extérieur).
très sensible à un mau-
nce est trop fort).





serrage sur culasse 40 Nm)
étanchéité du carter d'arbre

de préchauffage

ement
ion

(Doc. Mercédès-Benz)

2 Moteurs à *chambre de turbulence*

2.1 Fonctionnement

Ce dispositif est une variante du précédent : la *chambre de turbulence* représente la presque totalité du volume de la *chambre de combustion* **(fig. 4.3)**.

Cette préchambre communique avec le cylindre par un orifice de large section de forme tronconique ; comme dans le cas précédent, l'*injecteur* débouche dans la chambre **(fig. 4.4 à 4.7)**.

Pour ces moteurs, le *rapport volumétrique* est compris entre 15/1 à 18/1, et la pression d'injection est de 110 à 150 bar environ (1 bar = 100 kPa).

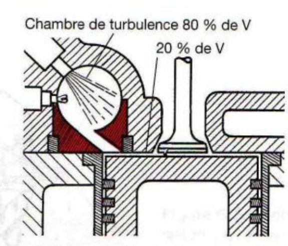


Figure 4.4. Coupe d'un moteur avec chambre de turbulence

Les constructeurs utilisent des *bougies de préchauffage* rapide de « type crayon » pour les départs à froid.

L'*injecteur* est du type « *à téton* » avec effet d'étranglement **(fiche 77)**, et souvent muni d'une coupelle « pare-flamme » **(fig. 4.5)**.

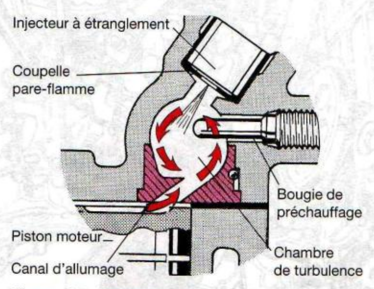


Figure 4.5. Chambre de turbulence « Ricardo » Comet Mk. V. *(Doc. VAG)*

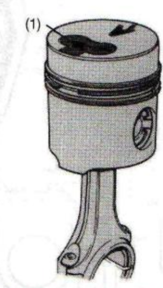


Figure 4.6. Piston moteur avec chambre en forme de « trèfle » 1 pour modèle à chambre de turbulence *(Doc. Ford)*

2.2 Avantages et inconvénients

Ce système a été le plus utilisé par tous les constructeurs excepté Mercédès.

- La *chambre de turbulence* permet un meilleur brassage de l'air que la *chambre de précombustion*, et autorise des régimes de rotation plus rapides.
- Le début de la combustion ne se déroule pas obligatoirement dans la *chambre de turbulence*.
- Le bruit de combustion est beaucoup moins important que dans le système à injection directe, mais la consommation est plus grande.
- La préchambre est interchangeable après la dépose de la *culasse* du moteur.

La plupart des moteurs équipant les véhicules routiers passent de cette technologie à l'injection directe, pour des problèmes liés aux normes de pollution, et à une diminution de la consommation.

Dysfonctionnement

■ **Démarrages difficiles par temps très froid, et fumées piquantes, pratiquement disparues avec les nouvelles techniques des *bougies de préchauffage* rapides, et *postchauffage* pendant la phase de réchauffement du moteur.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Ce type de chambre a bénéficié de nombreuses améliorations au fil du temps, et sa fiabilité est encore très bonne.
- La pression relativement faible de *tarage* des injecteurs (110 à 150 bar) permet de garantir une grande longévité aux *pompes à injection* distributrices.

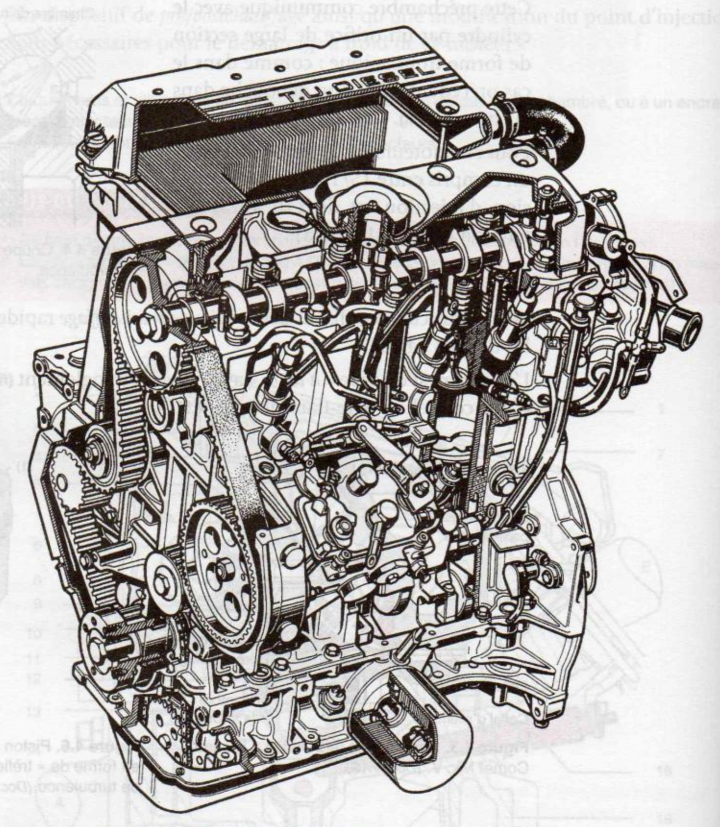


Figure 4.7. Moteur PSA TUD à chambre de turbulence

Quelques composants ou systèmes spécifiques

1 Pistons-segments

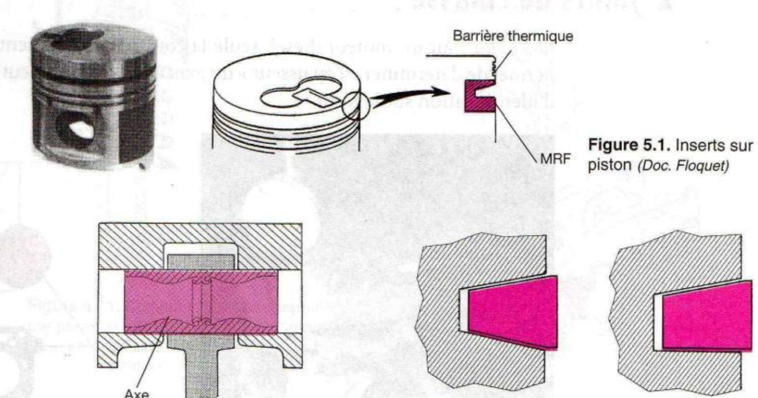


Figure 5.1. Inserts sur piston *(Doc. Floquet)*

Figure 5.2. Nouvel axe extrudé *(Doc. Floquet Monopole)*

Figure 5.3. Segments de feu améliorant le décalaminage

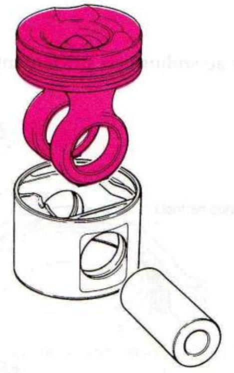


Figure 5.4. Piston en deux parties

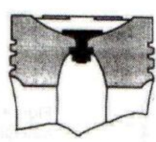


Figure 5.5. Pastilles coup-de-feu boulonnées sur un piston Caterpillar

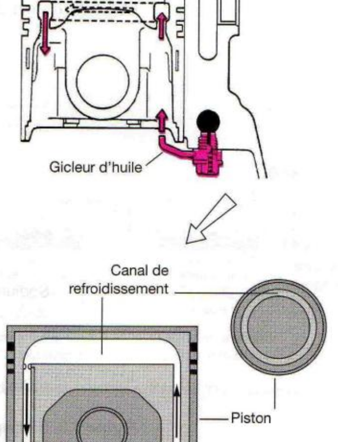


Figure 5.6. Têtes de pistons refroidies par un diesel Turbo *(Doc. VAG)*

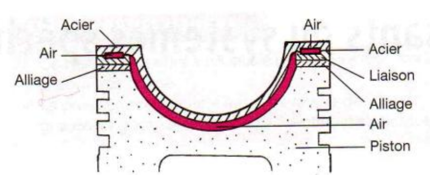


Figure 5.7. Piston AE à isolation par coussin d'air *(Doc. Volvo)*

2 Joints de culasse

Important : sur un moteur diesel, seule la cote de dépassement des pistons moteur permet de déterminer « l'épaisseur » du *joint de culasse* : on peut observer des repères d'identification sur le joint.

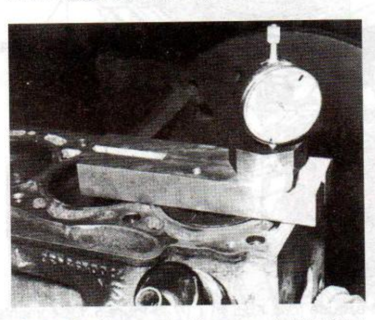
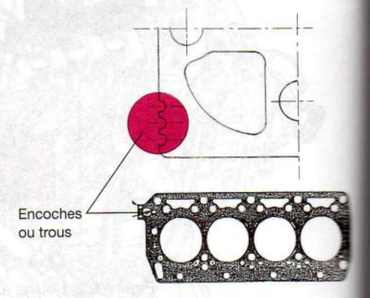


Figure 5.8. Mesure du dépassement d'un piston



3 Soupapes

La destruction des *soupapes* au sodium est strictement réglementée (pollution).

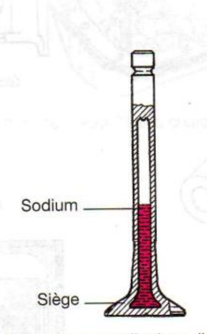


Figure 5.9. Soupape remplie de sodium pour améliorer la conductibilité thermique *(Doc. Mercédès-Benz)*

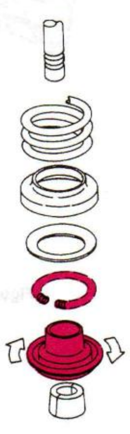
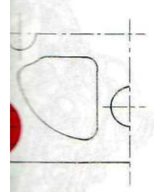


Figure 5.10. Dispositif « Rotacteur » de soupape Caterpillar évitant les zones de surchauffe et favorisant le nettoyage

AE à isolation
(Doc. Volvo)



des pistons moteur
observer des repères



ntée (pollution).

» Rotacteur » de soupape
de surchauffe

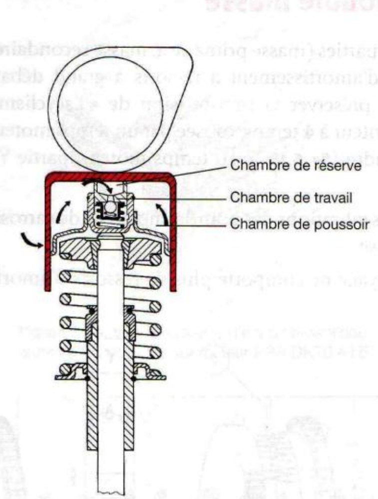


Figure 5.11. Commande des soupapes par poussoir « hydraulique » à rattrapage de jeu automatique *(Doc Mercédès)*

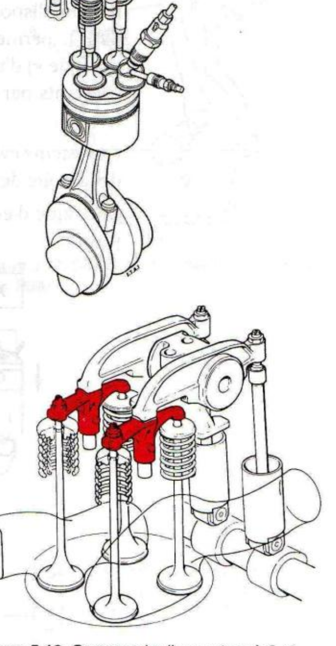


Figure 5.12. Commande d'un moteur à 3 et 4 soupapes/cylindre *(Doc. Volvo et ETAI)*

4 Coussinets

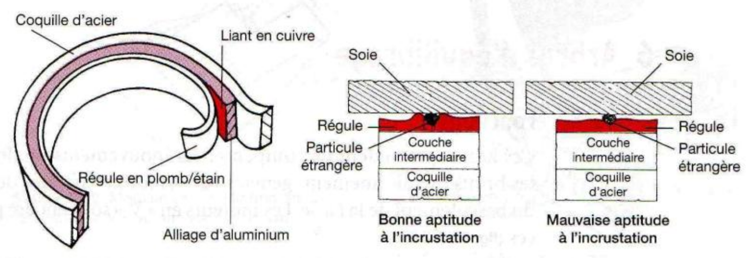


Figure 5.13. Composition d'un coussinet de bielle, avec aptitude à l'incrustation *(Doc. Caterpillar)*

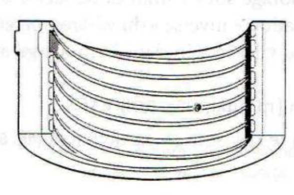


Figure 5.14. Coussinet de bielle à rainures type « Myba » à différents alliages rapportés et alternés *(Doc. Mercédès-Benz)*

5 Volant moteur à double masse

Ce volant, en deux parties (masse primaire a, masse secondaire b), reliées entre elles par un dispositif d'amortissement à ressorts à grand débattement (2) (jusqu'à 190°), permet de préserver la transmission de « l'acyclisme » (ou « irrégularité cyclique ») d'un moteur à 4 temps, causée par un temps moteur suivi de trois temps résistants par cylindre (**fig. 5.15**, X au temps moteur, partie Y pour les trois autres temps).

Ce système évite les vibrations, les bourdonnements de carrosserie, les claquements de la boîte de vitesse.

Le disque d'embrayage ne comporte plus de ressorts d'amortissement avec ce dispositif.

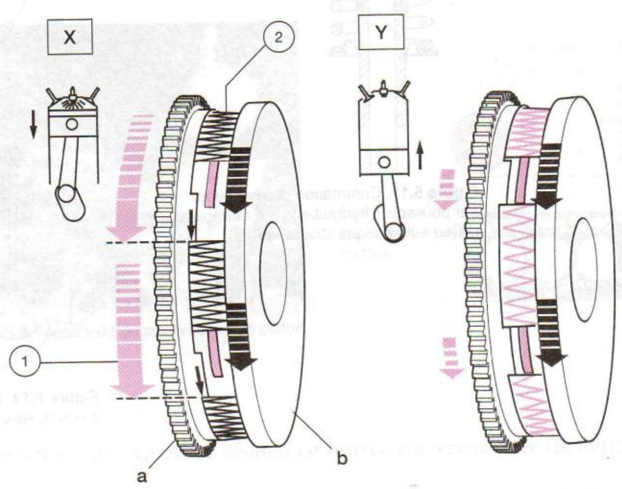


Figure 5.15. Volant moteur « Bi-masses », à dispositif d'amortissement : X = amortissement important au temps « moteur » ; Y = pas d'amortissement au cours des autres positions du cycle

6 Arbres d'équilibrage

6.1 Fonctions

Ces arbres permettent de compenser les mouvements de flottement du moteur et les bruits de pilonnement, générés par les forces latérales des pistons, au moment du basculement de la *bielle*. Les moteurs en « V » sont encore plus sensibles à ces forces (**fig. 5.17 à 5.19**).

6.2 Emplacements

Un ou deux arbres d'équilibrage sont entraînés de façon diverse en fonction du constructeur, en sens de rotation « inverse » du *vilebrequin*, et :

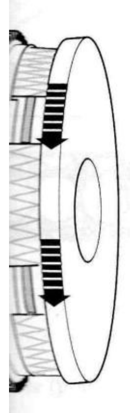
- au double de la vitesse du vilebrequin dans le montage avec 2 arbres (**fig. 5.16 à 5.18**) ;
- à la vitesse du vilebrequin (montage (**fig. 5.20**) VAG).

Les arbres sont logés, selon le cas, soit en partie haute (**fig. 5.16**) ou dans un carter inférieur spécial (**fig. 5.20**).

b), reliées entre elles tement (2) (jusqu'à » (ou « irrégularité r suivi de trois temps pour les trois autres

erie, les claquements

ssement avec ce dis-



= amortissement
es positions du cycle

ement du moteur et pistons, au moment s sensibles à ces for-

se en fonction du

c 2 arbres (fig. 5.16 à

ou dans un carter

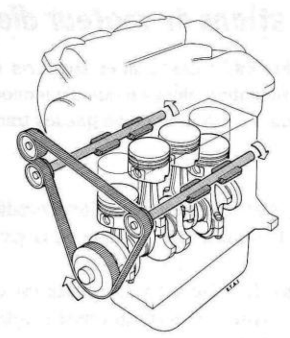


Figure 5.16. Vue du système d'entraînement des arbres d'équilibrages sur moteur PSA DKT5 ATE

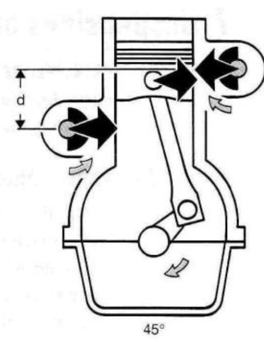


Figure 5.17. Compensation des forces latérales *(Doc. PSA)*

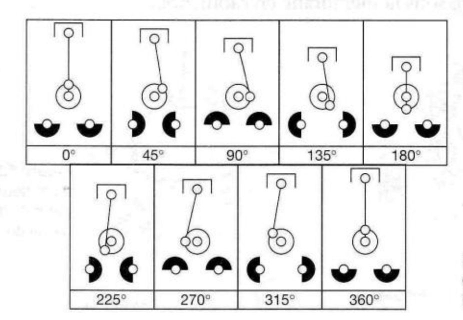


Figure 5.18. Position des arbres d'équilibrages au cours d'un cycle du moteur *(Doc. PSA, moteur DW12 TFD4)*

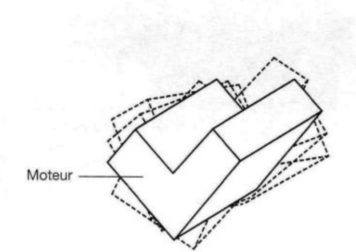


Figure 5.19. Mouvements de flottement du moteur « V » vu par VAG *(Doc. VAG)*

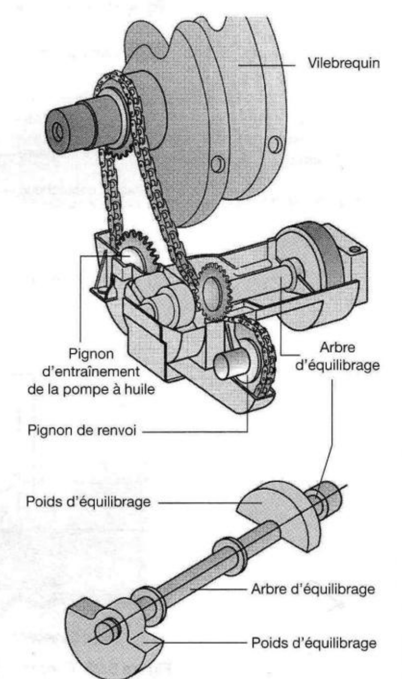


Figure 5.20. Système à un seul arbre d'équilibrage *(Doc. VAG)*

7 Suspensions anti-vibrations du *moteur diesel*

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Les paliers supports hydrauliques à souplesse variable, pilotés par le calculateur électronique d'injection, sont destinés à « filtrer » au mieux les vibrations du moteur, afin de ne pas les transmettre à la carrosserie.

7.1 Fonctionnement

- Au ralenti, le palier **(fig. 5.21 et 5.22)** est « souple », les faibles oscillations du moteur ne peuvent repousser le liquide hydraulique de la partie haute du palier vers le bas **(fig. 5.23)**.
  L'électrovanne **(fig. 5.23)** de mise à l'atmosphère est ouverte. La membrane en caoutchouc se déforme, amortie les vibrations du moteur, l'air sous la membrane est refoulé vers l'atmosphère.
- En roulage, l'électrovanne est fermée **(fig. 5.24)**, formant un coussin d'air de grande résistance sous la membrane en caoutchouc.

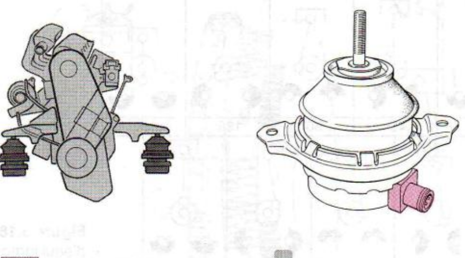


Figure 5.21. Suspension du moteur à souplesse variable, par paliers pilotés par le calculateur d'injection *(Doc. VAG)*

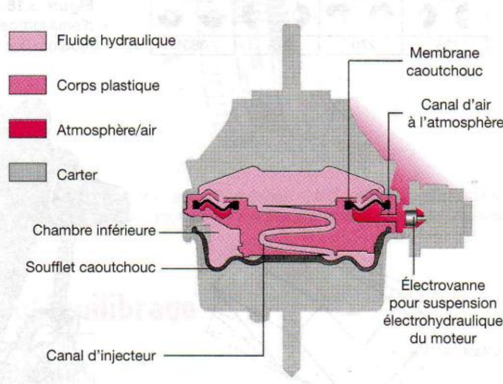


Figure 5.22. Vue de la constitution d'un palier hydraulique à dureté. Variable sur véhicule VAG *(Doc. VAG)*

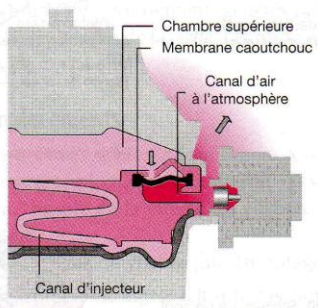


Figure 5.23. Fonctionnement, moteur au ralenti

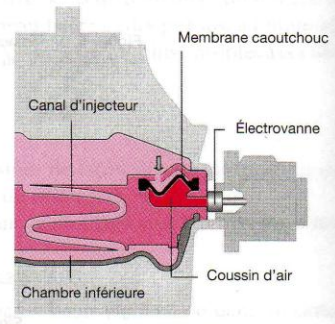


Figure 5.24. Fonctionnement en roulage

uliques à souplesse t destinés à « filtrer » tre à la carrosserie.

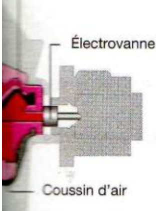
scillations du moteur aute du palier vers le

te. La membrane en air sous la membrane

ussin d'air de grande

21. Suspension à souplesse variable, s pilotés par le r d'injection *(Doc. VAG)*

re 5.22. Vue de nstitution d'un palier ulique à dureté. ble sur véhicule VAG AG)



ment en roulage

Les plus grandes amplitudes des vibrations moteur repoussent l'huile hydraulique à travers le « canal d'injecteur » **(fig. 5.24)**, dans la chambre inférieure, entraînant la déformation du soufflet caoutchouc, et la réduction des grandes oscillations du moteur.

Les petites oscillations sont toujours absorbées par la déformation de la petite membrane en caoutchouc **(fig. 5.24)**.

7.2 Autres versions

En fonctions des constructeurs, avec un palier de conception différente, la commande peut être également assistée par la pompe à vide en dépression, toujours pilotée par le calculateur d'injection, *via* une électrovanne électropneumatique **(fig. 5.25)**.

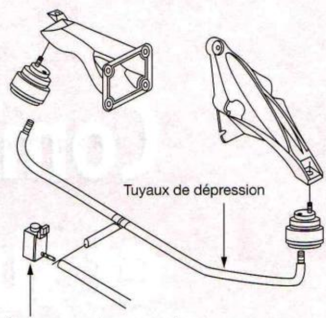


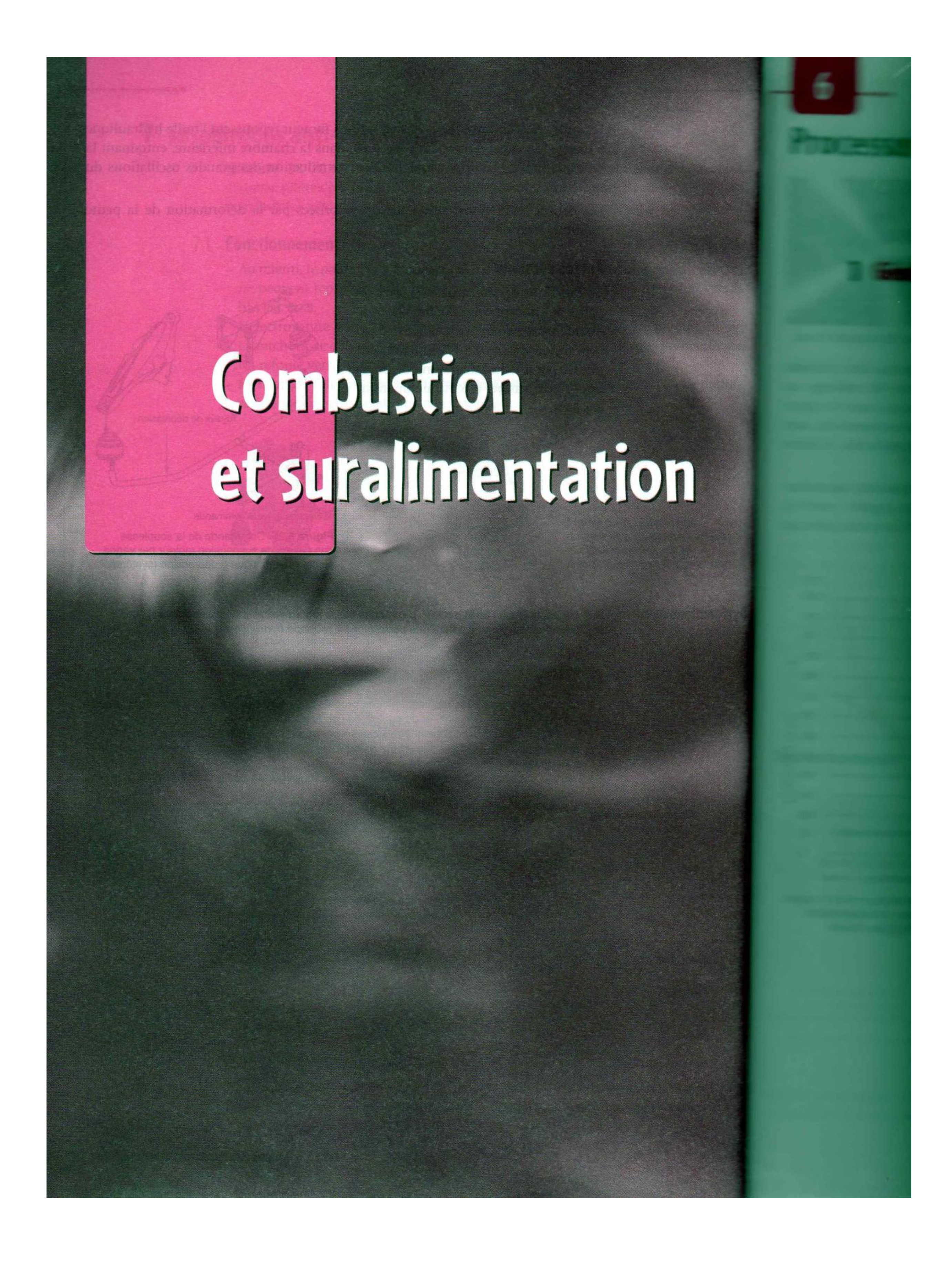
Figure 5.25. Commande de la souplesse des paliers de suspension moteur par vanne électropneumatique à dépression (système BMW)

Dysfonctionnements

- **À coups, bruits à l'arrêt moteur, provoqués par le jeu du volant à double masses.**
- **Claquements à froid, à cause des *poussoirs de soupape hydrauliques* HS.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Tous ces éléments cités représentent des progrès au niveau des matériaux, de la fiabilité, de la diminution de la pollution, et du confort de conduite.
- Les arbres d'équilibrage doivent être « calés » par rapport à la position du *vilebrequin*.
- La courroie d'entraînement des arbres d'équilibrage est spéciale, et n'est pas comprise dans le kit de distribution !!!
- Dans le cas d'un *volant moteur* « bi-masse », l'embrayage fait partie de l'ensemble complet volant moteur.



Combustion et suralimentation

Processus de la combustion

1 Généralités

Dans un moteur diesel, le mélange air-carburant n'est jamais parfaitement homogène car le carburant n'est injecté que vers la fin du temps de compression.

Le carburant ne peut s'enflammer dès que commence son introduction dans le cylindre puisqu'il doit, au préalable, emprunter à l'air comprimé présent dans la chambre et aux parois la chaleur qui lui est nécessaire pour atteindre sa température d'auto-inflammation **(fig. 6.1)**.

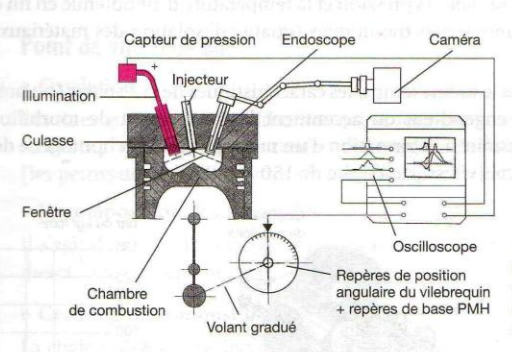


Figure 6.1. Système de visualisation de la combustion dans un moteur diesel *(Doc. High Speed Diesel)*

En outre, le carburant s'enflamme très vite quand il est pulvérisé avec violence (forte pression) dans le cylindre. Il n'existe pas un front de flamme mais une multitude de petits foyers d'incendie (un par minigouttelette), qui s'enflamment au contact de l'air indépendamment les uns des autres, depuis le début de la première injection jusqu'à la fin, d'une durée variable de 10° à 40° de rotation vilebrequin.

Théoriquement, il faut 20 à 22 g d'air pour brûler 1 g de gazole ; en pratique, on utilise 25 à 30 g d'air, en moyenne, pour brûler 1 g de gazole.

Un excès d'air est toujours nécessaire car il permet :
- de mieux brasser l'air et le combustible ;
- d'enflammer les gouttelettes non mélangées à l'air au moment de l'injection.

Le processus complexe du déroulement de la combustion est lié aux caractéristiques principales suivantes :
- *carburant* utilisé ;
- *pression d'injection*, qualité de la pulvérisation **(fig. 6.2)** (modèle d'injecteur), point d'injection, nombre d'injections, et taux d'introduction (quantité de carburant injecté par degré vilebrequin) ;
- *pression de compression* dans le cylindre moteur (lié au rapport volumétrique) ;
- température de l'air et quantité d'oxygène au moment de l'injection ;
- type de *chambre de combustion* (injection directe, préchambre, *chambre de turbulence*, etc.) et homogénéité du mélange (le brassage d'air ou tourbillon d'air doit atteindre une vitesse de 150 m/s) ;
- *vitesse de rotation* et *température du moteur*.

2 Compression de l'air

Le volume d'air présent dans le cylindre après le temps « aspiration » (avec un début de mouvement « tourbillonnant » selon la forme, et la technologie du *conduit d'admission* **(fig. 6.3)**, le nombre des *soupapes d'admission* **(fig. 6.3)**, avec ou non la présence d'un déflecteur) est comprimé par la montée du *piston* vers le PMH.

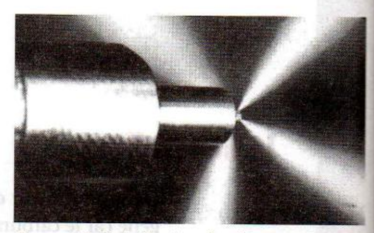


Figure 6.2. Pulvérisation d'un injecteur à trous

Cette compression engendre une montée rapide en température, qui doit atteindre au minimum 500 °C pour assurer l'inflammation spontanée du mélange au moment de l'injection. La **figure 6.4** représente la relation théorique entre le *rapport volumétrique*, la pression et la température d'air obtenue en fin de compression, sans aucunes pertes thermiques (qualité d'isolation des matériaux employés), ni fuites d'air.

Dans le même temps, les caractéristiques de la *chambre* (ou préchambre) de *combustion* engendrent ou accentuent le mouvement de tourbillon (appelé « swirl »), nécessaire à la formation d'un mélange rapide et homogène de l'air et du carburant injecté (vitesse de l'ordre de 150 à 200 m/s).

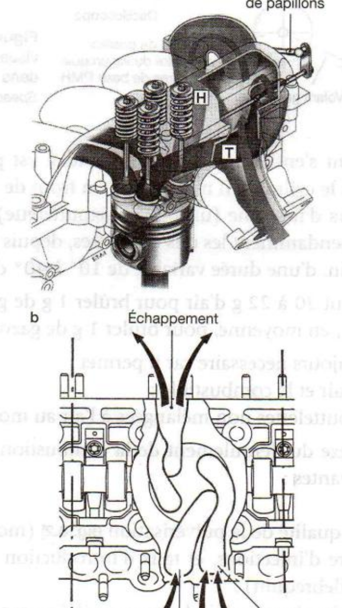


Figure 6.3. Conduits de formes diverses, à longueur variable, avec papillons commandés par une électrovanne *(a : Doc. PSA ; b : Doc. OPEL)*

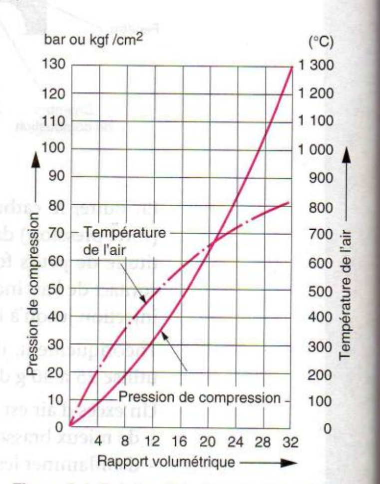
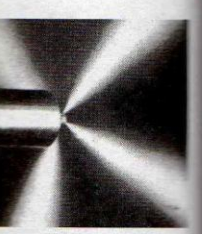


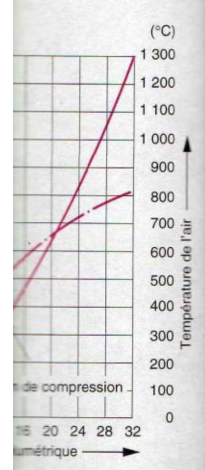
Figure 6.4. Relation théorique entre le rapport volumétrique, la pression de compression et la température de l'air *(Doc. Toyota)*



tion d'un injecteur à trous

ture, qui doit atteindre
tanée du mélange au
éorique entre le rapport
de compression, sans
x employés), ni fuites

réchambre) de *combus-*
ion (appelé « swirl »).
de l'air et du carburant



héorique entre le rapport
ion de compression
l'air *(Doc. Toyota)*

Analyse de la combustion

1 Caractéristiques de la combustion

1.1 Quelles sont les qualités d'une bonne combustion ?

Une combustion doit être :
- immédiate : commencée dès le début de l'injection ;
- régulière et progressive : sans montée brutale de la pression ;
- complète : dégagement de toute la chaleur que le combustible est capable de fournir, pas de résidus ni d'imbrûlés.

1.2 Point de vue chimique

- **Oxydation**

Les fines gouttelettes de carburant qui se forment au moment de l'injection dans l'air comprimé s'oxydent au contact de l'oxygène de l'air pour former des peroxydes (les peroxydes sont des composés oxygénés au maximum).

- **Décomposition des peroxydes**

Il s'agit d'une réaction très brutale qui entraîne le bruit caractéristique du moteur diesel : « le cognement ».

- **Cracking du combustible**

La chaleur dégagée réalise un cracking de l'intérieur des gouttelettes restées à l'état initial : décomposition exothermique (qui dégage de la chaleur).

La teneur en carbone des molécules du carburant est très diminuée par ce cracking et entraîne une diminution de la vitesse de combustion. Il n'y a plus de cognement.

Dysfonctionnements

■ **Le processus de combustion est lié à l'état du moteur, au système d'injection, et à la qualité du carburant.**
■ **Des fumées à l'échappement sont le signe d'une combustion incomplète, provenant de l'un de ces éléments.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La montée en pression dans le cylindre lors de l'inflammation, ne doit pas dépasser 5 à 6 bar/degré vilebrequin, seuil de l'apparition du « cognement », et du risque de destruction du moteur.

1.3 Point de vue chronologique

- **Délai d'inflammation (points A → B)**

C'est la phase (très courte) préparatoire à la combustion **(fig. 7.1)**, qui sépare le début de l'injection du début de l'inflammation du mélange. Ce délai, lié à la nature du carburant et à certains phénomènes physiques et chimiques se décompose en :
- *délai physique* : c'est le temps pendant lequel les fines gouttelettes de gazole s'échauffent au contact de l'air jusqu'à leur « vaporisation » (variable selon la température de l'air, la vitesse, la dimension des gouttelettes et la *viscosité* du combustible). Le diamètre des gouttelettes injectées est variable selon la pression et les caractéristiques des trous de l'injecteur, il varie entre 2 et 100 µm (1 µm = 1/1 000e de mm) ;

– *délai chimique* : pendant le temps qui précède l'inflammation, se réalise « l'oxydation » du carburant. La durée est comprise entre 0,001 et 0,002 seconde, une montée constante de la *pression de compression* a lieu pendant cette phase, proportionnelle à l'angle de rotation du vilebrequin (10 à 20°).

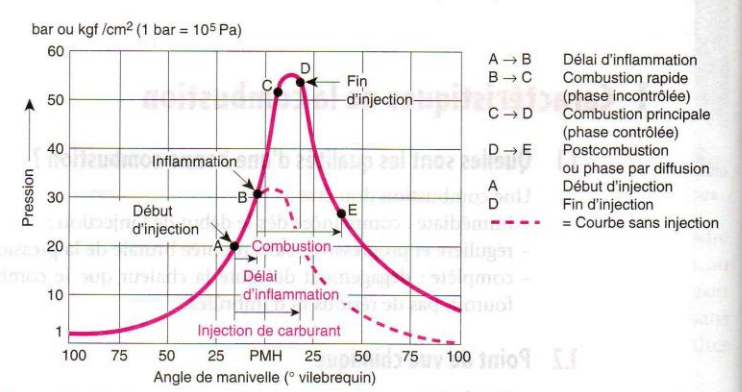


Figure 7.1. Déroulement de la combustion en rapport avec les phases d'injection dans un moteur diesel

• Propagation de la flamme (points B → C)

Le mélange carburant s'est formé **(fig. 7.1)**, et le processus d'inflammation s'amorce en une multitude de points, à une vitesse extrêmement grande (présence d'un excès important d'oxygène et d'une masse de carburant pulvérisé durant le délai d'inflammation).

La *vitesse de combustion* (cette vitesse peut atteindre 1 000 à 1 200 m/s) définit la montée en pression dans le cylindre et le bruit résultant de cette phase (combustion rapide ou phase incontrôlée) **(fig. 7.2)**.

La vitesse de la flamme sur un moteur à « essence » est subsonique (déflagration).

La vitesse de la flamme sur un *moteur diesel* est « supersonique », c'est la *détonation*.



a) Mauvaise fermeture de l'injecteur b) Rupture due au « cognement » (retard à l'inflammation) c) Température excessive de combustion (rupture de la préchambre)

Figure 7.2. Exemples de pistons détériorés par une mauvaise combustion *(Doc. SK Kolbenschmidt)*

• Combustion principale (points C → D)

L'injection se poursuit **(fig. 7.1)**, le combustible continue à brûler progressivement, la *vitesse de combustion* diminue, tandis que la pression et la température continuent à

s'élever (fig. 7.1). C'est la phase de combustion « contrôlée » en fonction du volume de combustible injecté par degré de rotation du vilebrequin (c'est le « taux d'introduction »).

C'est lors de cette phase qu'une scission des molécules du combustible (cracking) s'effectue et donne naissance à :
- des produits gazeux et légers qui brûlent ;
- des produits plus lourds (goudroneux) plus difficiles à brûler, avec risque de rejets à l'échappement, sous forme de suies (augmentation de la durée totale de combustion).

- **Postcombustion (ou combustion diffusante) (points D → E)**

La fin d'injection (fermeture de l'injecteur) se produit au point « D » (fig. 7.1), mais le mélange carburant restant continue à brûler.

Les conditions sont de plus en plus défavorables :
- raréfaction de l'oxygène ;
- volume croissant de la chambre de combustion (pression et température en baisse rapide, descente du piston vers le PMB) ;
- hydrocarbures restants difficiles à brûler.

La durée de cette dernière phase est liée aux deux précédentes (une qualité de pulvérisation médiocre ou une mauvaise combustion principale vont augmenter la postcombustion). La phase de postcombustion doit être la plus courte possible, toute durée supplémentaire se traduit par une augmentation de la température des gaz d'échappement et une baisse de rendement (fig. 7.2).

2 Cognement du moteur diesel

Les causes du « *cognement* » décrites précédemment (délai d'inflammation prolongé ; quantité trop importante de combustible qui se vaporise au cours de ce délai) sont connues, et doivent être résolues en évitant cette montée soudaine en pression (fig. 7.3).

Comment éviter le cognement ?

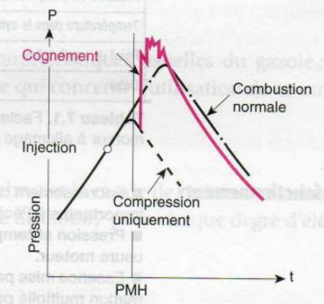


Figure 7.3. Courbe de combustion critique engendrant un cognement *(Doc. Toyota)*

2.1 Réduction du délai d'inflammation

- Utilisation d'un carburant avec un indice de cétane élevé (> à 48).
- Augmentation importante de la pression d'injection (vitesse de mélange plus grande et gouttelettes plus fines).
- Optimisation du point d'injection (calage initial précis, déplacement du point en fonction des caractéristiques du moteur).
- Augmentation de la température de l'air *(rapport volumétrique)*, matériaux plus isolants.
- Amélioration du remplissage (multisoupapes), et du mouvement tourbillonnant de l'air (swirl), par des formes de *conduits d'admission*, et des conduits à longueurs variables munis de papillons pilotés électroniquement.

2.2 Réduction, ou fractionnement du volume de combustible injecté pendant cette phase (délai d'inflammation)

L'une des solutions efficace est de faire précéder l'injection principale d'une « pré-injection » pour permettre l'inflammation, et une petite montée en pression, quelques degrés avant le point d'injection normal.

Cette « pré-injection » entraîne une réduction considérable du délai d'inflammation lors de l'injection principale, permettant une réduction du bruit de *cognement*, et une combustion beaucoup plus complète **(fig. 7.4)**.

Cette « pré-injection » n'est possible que sur les dernières technologies comme les injecteurs-pompes, ou le système « rail commun » **(fiche 82)**.

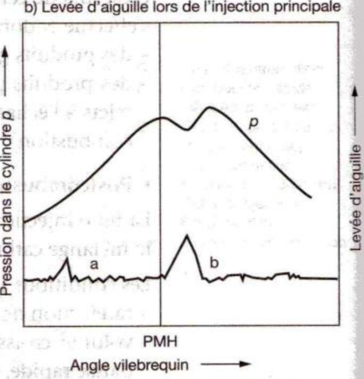


Figure 7.4. Évolution de la pression dans le cylindre avec une pré-injection (à comparer avec la **figure 7.1**) *(Doc. Bosch)*

Autres solutions moins efficaces : caractéristiques de l'injecteur (voir *injecteur* à étranglement, *porte-injecteur*, à doubles ressorts, etc.).

Facteur	Moteur diesel	Moteur à essence
Rapport de compression	Augmentation	Diminution
Température de l'air	Augmentation	Diminution
Pression de compression	Augmentation	Diminution
Température dans le cylindre	Augmentation	Diminution
Point de combustion	Diminution	Augmentation
Délai	Raccourcissement	Allongement

Tableau 7.1. Facteurs de diminution du cognement sur un moteur diesel, ou des « cliquetis » sur un moteur à allumage commandé (essence) *(Doc. Toyota)*

Dysfonctionnements

- **Encrassement des *injecteurs*, ou de l'arrivée d'air, provoquant des *cognements* et des fumées importantes à l'échappement.**
- **Pression et température de l'air trop basses, avec fumées blanches, conséquences d'une usure moteur.**
- **Essence mise par erreur, à la place du gazole, provoquant des fumées blanches (délai d'inflammation multiplié par 10).**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les solutions qui permettent d'éviter le *cognement* sur un *moteur diesel* (favorisant l'inflammation spontanée, indice de « cétane ») sont inverses des solutions utilisées sur un moteur à allumage commandé (essence) où le but est d'éviter l'inflammation spontanée ou « cliquetis » (indice « d'octane » **(tableau 7.1)**).

Carburants diesels utilisés

1 Types de carburants utilisés

Les carburants qu'il est possible d'injecter dans les cylindres des *moteurs diesels* sont en général :
- le gazole et le fioul léger (applications routières ou agricoles) ;
- les fiouls lourds, les huiles de goudron (qui proviennent des goudrons de lignite et de charbon bitumeux) uniquement utilisées pour les gros moteurs fixes, marine ou industrie ;
- les biocarburants (à base d'huiles végétales diverses, colza, palme, etc.).

Ces nouveaux carburants sont employés actuellement, et ne peuvent se mélanger qu'en faible pourcentage (≈ 5 à 10 %) additionnés au gazole (Diester).

2 Le gazole et le fioul oil léger

Ce sont des produits de la distillation ou du cracking des pétroles bruts ; l'emploi exclusif du gazole est obligatoire dans les *moteurs diesels* routiers, c'est un mélange complexe de nombreux hydrocarbures.

Le fioul léger et coloré (rouge), est réservé à des utilisations industrielles et agricoles, il est interdit dans les véhicules routiers.

2.1 Caractéristiques physiques

Les indications qui suivent précisent les caractéristiques usuelles du gazole ; en outre, elles soulignent leur importance en ce qui concerne l'utilisation de ce carburant dans les moteurs diesels.

- **Masse volumique**

Elle est variable suivant l'origine du pétrole brut et le mode de traitement subi (en moyenne, de 0,850 à 15 °C) et elle diminue de 0,0007 pour chaque degré d'élévation de température.

- **Pouvoir calorifique**

Il est légèrement inférieur à celui de l'essence ; sa valeur moyenne est de 10 800 calories par kilogramme.

- **Volatilité**

Elle se vérifie sur une courbe, dite « courbe de distillation ».

Pratiquement, la distillation du gazole commence vers 200 °C et se termine aux environs de 370 °C.

Les spécifications légales indiquent :
- limite inférieure = 65 % à 250 °C (point d'ébullition initial) ;
- limite supérieure = 85 % à 350 °C (point de fin de distillation).

- **Viscosité**

Les organes d'injection sont construits avec des jeux d'usinage extrêmement réduits. Aussi le carburant doit-il être suffisamment fluide pour être injecté correctement.

Cependant, une fluidité excessive serait nuisible, car la pénétration du jet dans la chambre serait insuffisante par suite d'une pulvérisation trop fine.

La viscosité à 40 °C doit être comprise entre 2 et 4 mm^2/s à 9,5 mm^2/s, tout en restant dans la limite pour assurer la lubrification des systèmes d'injection.

- **Indice ou nombre de cétane ($C_{16}H_{34}$) (= aptitude à l'inflammation)**

On appelle « indice de cétane » du carburant à étudier, le pourcentage de cétane contenu dans un mélange qui produit le même délai d'allumage que le carburant essayé.

C'est une caractéristique particulière aux carburants pour moteurs diesels. Il agit sur le délai d'inflammation qui doit être aussi court que possible pour éviter un « *cognement* » moteur trop intense.

Le cétane est un dérivé du pétrole, et appartient à la famille des paraffines (d = 0,775).

Les carburants commerciaux pour *moteurs diesels* ont un nombre de cétane généralement compris entre 48 (indice légal) et supérieur à 52 (pour le gazole moteur), l'indice doit être au moins égal à 40 pour le fioul léger.

Avant de les adopter, on procède à un essai. On injecte le carburant à étudier dans un moteur diesel spécial monocylindre de 80 mm d'alésage, de 115 mm de course et tournant à 900 tr/min, puis on ajoute un mélange de cétane, et d'alpha-méthyl-naphtalène $C_{11}H_{10}$ (dérivé du goudron de houille, d = 1,025, à l'inflammation difficile).

Ce moteur est réalisé de façon que l'on puisse faire varier le taux de compression en marche (**fig. 8.1**).

Du volume de la chambre de combustion ainsi déterminé, on déduit le nombre de cétane de l'échantillon de combustible par rapport au pourcentage de cétane contenu dans le « mélange étalon » (**fig. 8.1**).

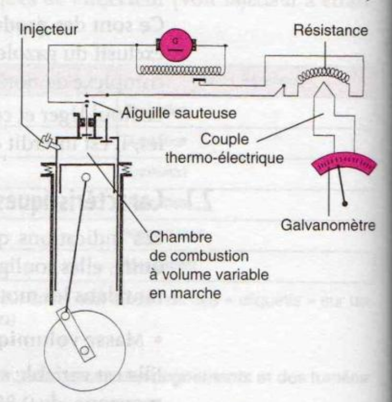


Figure 8.1. Moteur d'essai CFR
(Doc. Coopérative-Fuel)

- **Teneur en impuretés**

La teneur en soufre doit être très faible. Cependant, tous les pétroles bruts en contiennent en quantité variable suivant leur provenance. Le maximum légal est en constante diminution, car, en présence d'eau, il se forme de l'acide sulfurique qui pollue l'environnement, et peut attaquer les cylindres, la culasse et d'autres organes.

Aux températures élevées, les composés sulfurés forment, avec les résidus charbonneux, des dépôts durs et abrasifs provoquant des rayures et des gommages de segments (les pluies acides, dangereuses pour la santé, sont également favorisées par cette teneur en soufre dans les gaz d'échappement).

Il a été démontré que l'usure des cylindres de *moteurs diesels* augmente en même temps que la teneur en soufre du combustible.

La teneur en cendres doit être inexistante (traces non dosables) pour éviter l'usure des cylindres et l'encrassement des orifices.

Enfin, le carburant ne doit pas contenir d'eau ni de dépôts solides susceptibles de troubler le fonctionnement des organes d'injection **(fig. 8.2)**.



Figure 8.2. Exemple de pièce corrodée par un carburant pollué

2.2 Caractéristiques thermiques

- **Point de trouble**

C'est la température à laquelle apparaissent les premiers cristaux de paraffine dans le carburant diesel (Norme NF T 060-105 = ≤ à – 5 °C du 01/10 au 15/03 ; fioul léger = + 2 °C).

- **Point d'écoulement**

Les pompes d'alimentation doivent pouvoir distribuer le gazole dans les canalisations des moteurs malgré les variations de température saisonnière. Des normes spécifient un point d'écoulement maximal de – 18 °C en hiver. Toutefois les raffineries ont la possibilité de donner aux combustibles des points de congélation inférieurs.

- **Température limite de filtrabilité (TLF)**

C'est la température au-delà de laquelle il n'est plus possible d'aspirer du carburant à travers un élément filtrant « normalisé » à grosses mailles (45 microns), tout en sachant que les filtres actuels employés ont un seuil de filtration de ± 5 µ (microns) !

- **Température d'éclair**

Pour la sécurité du transport et du stockage, le point d'éclair ne doit pas être inférieur à 55 °C.

3 Utilisation des fiouls lourds

Les fiouls lourds **(fig. 8.3 et 8.4)** dont la viscosité peut atteindre plus de 3 000 s.Redwood 1 à 100° Farenheit (temps d'écoulement dans un viscosimètre de Redwood) demandent à être chauffés avant traitement : filtration par centrifugation **(fig. 8.3 et fig. 8.4)** pour atteindre une viscosité convenable avant le passage dans une pompe d'injection (3,5 à 4° Engler, 1 mm^2 par seconde = 0,132 Engler).

Classe	Densité à 15,6 °C	Viscosité			Teneur en soufre %	Résidu %	Teneur en cendre %
		est à 50 °C	« E » à 50 °C	Sec Red 1 à 100 °F			
A_1 Gazole et assimilés	< 0,87	< 4,1	< 1,33		< 0,1	< 0,1	< 0,005
B_1 Produits noirs légers	< 0,90	< 12	< 2	< 60	0,25 < S < 1,5	< 1,5	< 0,01
B_2 Produits noirs moyens	< 0,94	< 100	< 13	< 400	0,25 < S < 2	< 6	< 0,05
C_3 Produits noirs lourds riches en soufre	< 0,98			200 à 4 000	3 < S < 4	< 12	< 0,1

Tableau 8.1. Caractéristiques des carburants employés comparés au gazole

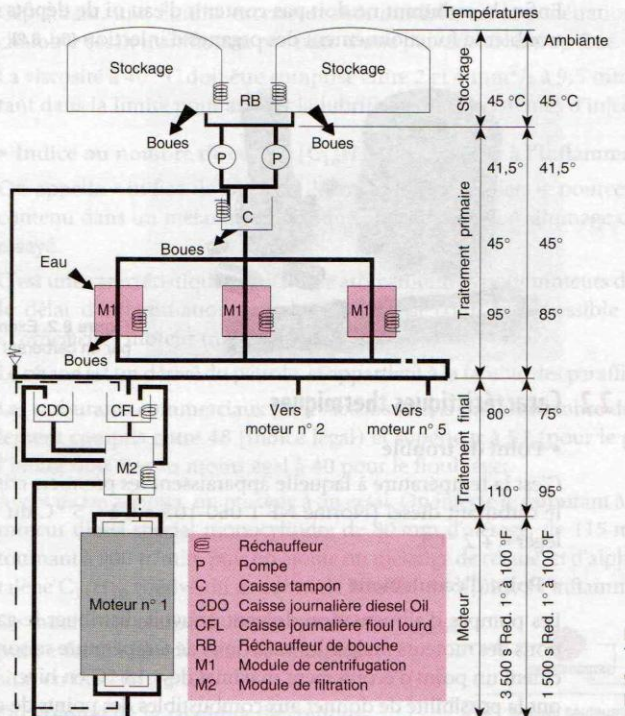


Figure 8.3. Traitement primaire du combustible par centrifugation *(Doc. SEMT-Pielstick)*

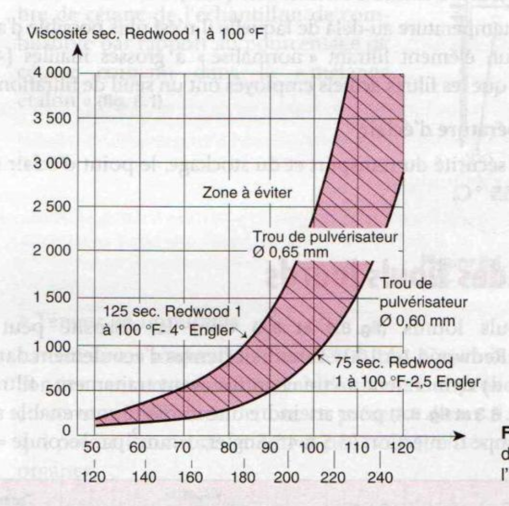


Figure 8.4. Fioul lourd. Zones de température à respecter pour l'injection *(Doc. SEMT-Pielstick)*

4 Stockage des combustibles

Une contamination du combustible (eau, bactéries) peut facilement se produire lors d'une manipulation (état des canalisations, pompe, etc.), ou d'un stockage non conforme (fûts, citernes corrodées, mal ventilés, non fermés, etc.) (fig. 8.5).

La longévité du moteur diesel et de l'équipement d'injection peut être très rapidement écourtée à cause de ce manque de précaution (fig. 8.2).

Dans toutes ces applications, il y a lieu de monter des *préfiltres* supplémentaires, avec si possible une détection facile (ou automatique) du niveau d'eau et de l'aspect du carburant.

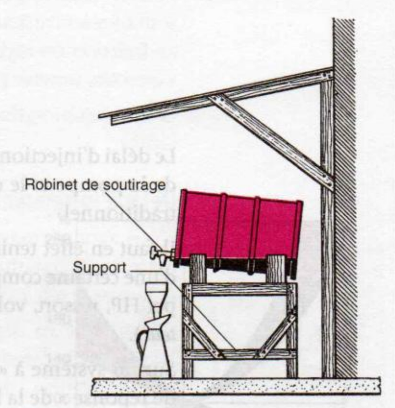


Figure 8.5. Stockage du carburant en fût

5 Utilisation de « biocarburant »

La principale qualité de ce type de carburant est d'être biodégradable, mais les précautions d'emploi sont d'une importance capitale pour la vie du système d'injection :

- garder les réservoirs toujours pleins, pour éviter les condensations ;
- éviter de mélanger à l'avance le gazole ou fioul avec le biocarburant ;
- les pompes à injection doivent être modifiées avec des joints « Viton », et l'échange des *filtres* doit être plus fréquent ;
- contrôler tous les jours le niveau d'huile moteur, pour visualiser une dilution, ou la *viscosité* (présence de boues) ;
- une perte de puissance est possible, comme une corrosion des pièces d'injection.

Dysfonctionnements

- Destruction des *pompes*, injecteurs, par corrosion, bactéries, boues, par manque d'entretien, ou carburant pollué (mauvais stockage, condensation, fond de cuve).
- Phénomènes de pompage moteur ou instabilité, fumées, dues à la mauvaise qualité de carburant.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La qualité des carburants est capitale pour la vie des équipements d'injection, d'autant plus avec les nouvelles technologies (*injecteurs* pompe, rail commun, etc.).
- La réduction de la teneur en soufre diminue le pouvoir lubrifiant du carburant diesel, et la législation n'oblige pas à compenser ce point par des additifs, ce qui engendre des grippages ou casses de pompes d'injection.

Délai d'injection du carburant

Le délai d'injection est le temps très court qui s'écoule entre le début de refoulement de la pompe et le début réel de l'injection à la sortie de l'*injecteur*, sur un système traditionnel.

Il faut en effet tenir compte de la faible dilatation du tube d'amenée du carburant, d'une certaine compressibilité du liquide et des caractéristiques des composants (clapet HP, ressort, volume mort sur la *pompe d'injection*, et *tarage*, définition de l'*injecteur*).

Sur un système à « rail commun », le délai est simplement dépendant du « temps de réponse » de la bobine de commande **(fiche 82)**.

• Influence du réglage du début de l'injection sur le délai d'inflammation

C'est un facteur important, et la précision du point d'injection de la *pompe d'injection* sur le moteur est un élément déterminant pour le délai d'inflammation et le déroulement de la combustion.

Les problèmes liés à un calage arbitraire sont explicités dans le **tableau 9.1**.

Avance trop grande	Avance trop faible
⇓	⇓
L'injection a lieu alors que l'air n'a pas encore atteint la température nécessaire à l'inflammation du carburant.	Le début de la combustion a lieu après le passage du *piston* au PMH (phase de détente).
⇓	⇓
Le délai d'inflammation est augmenté, ainsi que la masse de carburant injecté. L'inflammation va être brutale, avec apparition de *cognement* et d'un échauffement anormal.	La température a baissé, le délai d'inflammation est augmenté, une partie du carburant ne pourra pas brûler. Le rendement du moteur est très mauvais, avec une pollution importante (HC).
Un mauvais réglage du point d'injection entraîne donc : – une diminution de la *puissance* du moteur ; – une augmentation de la consommation ; – une pollution importante à l'échappement ; – une modification du bruit de combustion et de la température des gaz d'échappement.	

Tableau 9.1. Influences du point d'injection sur un moteur diesel

• Influence de l'injection et de la pulvérisation sur l'évolution de la combustion

Ces facteurs dépendent :
- des propriétés physiques du carburant (densité, *viscosité*, température, indice de cétane, etc.) ;
- du milieu dans lequel a lieu l'injection (pression, température et turbulence de l'air, température du moteur) ;
- des caractéristiques de l'injection (pression du carburant, durée de la décharge) ;
- de la nature des *canalisations* (section, longueur, élasticité) ;
- de l'*injecteur* lui-même (longueur, forme, pression, vitesse de pénétration du jet, section de l'orifice de pulvérisation, nombre de ces orifices).

Dysfonctionnement

■ **Sur un système à « rail commun », la fuite d'un injecteur peut provoquer une destruction du moteur, la pression étant permanente, avec un début d'inflammation supérieur à 40 °C.**

Variation du point d'injection

1 Généralités

Dans un *moteur diesel* moderne, la précision du point d'injection (initial, et selon les divers états de fonctionnement) revêt une importance capitale, pour respecter les nouvelles règles internationales en matière d'environnement ; un écart de 1° *vilebrequin* engendre immédiatement une augmentation des émissions polluantes **(fig. 10.1)** et une modification du bruit.

Le point de calage initial est déterminé par le constructeur en fonction de plusieurs paramètres. Ils sont présentés ci-dessous.

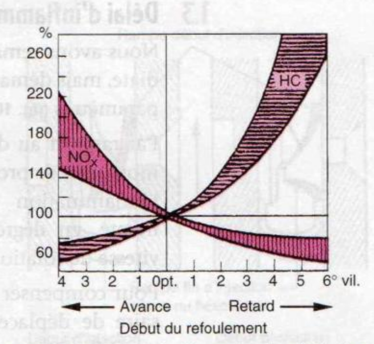


Figure 10.1. Plage de dispersion des émissions de NOx et HC en fonction du montage de pompes d'injection diesel (par rapport au début optimal de refoulement) *(Doc. Bosch)*

1.1 Caractéristiques de l'équipement d'injection

Délai d'injection ou temps écoulé entre le « début de refoulement » de la *pompe d'injection* et l'ouverture réelle de l'*injecteur* **(fiche 9)**.

Cet « auto-retard », dû à divers constituants comme ∅ du piston de pompe, modèle du clapet HP, tension initiale, tarage du ressort, volume interne du raccord de refoulement, dimensions et élasticité de la tuyauterie HP, *tarage* et caractéristiques de l'*injecteur*, ... doit être compensé par une *avance* initiale à l'injection, sur les équipements traditionnels **(fig. 10.2)**.

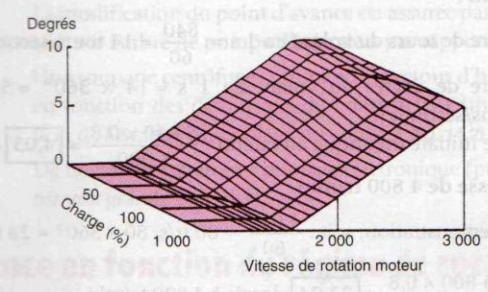


Figure 10.2. Exemple de courbes d'avance obtenues avec un dispositif mécanique *(Doc. Denso)*

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Pour un même moteur, le point de calage initial peut donc être différent selon la marque de l'équipement d'injection.
- Le point d'injection sur les nouveaux systèmes « rail commun » est géré par le calculateur électronique.

1.2 Lois d'écoulement des fluides

Phénomènes hydrauliques, ondes de pressions et dépressions, vibrations : ces données sont liées aux caractéristiques précédentes, mais rendent le « délai d'injection » variable, en fonction du régime de rotation, de la *viscosité* et température du carburant et de la « quantité injectée par degré vilebrequin » (taux d'introduction).

Une corrélation du point d'injection est donc nécessaire en fonction de ces particularités.

1.3 Délai d'inflammation (ou d'allumage)

Nous avons remarqué que l'inflammation du carburant pulvérisé n'est pas immédiate, mais demande un « délai minimal », lui-même variable en fonction de divers paramètres **(fig. 10.3)** ; le délai moyen est de 0,5 à 0,8 milliseconde.

Par rapport au déplacement du piston moteur, il se produit donc un retard à l'inflammation dont la valeur augmente, en degré vilebrequin, avec la vitesse de rotation.

Pour compenser ce retard, il est nécessaire de déplacer le point d'injection vers « l'avance », à mesure de la montée en régime du *moteur diesel*.

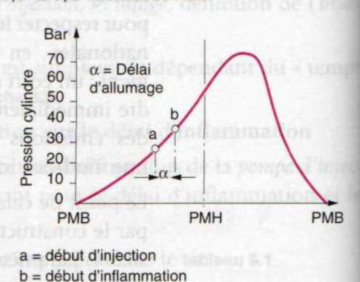


Figure 10.3. Délai d'inflammation en fonction de la pression dans le cylindre

2 Exemple

Calculons l'avance (théorique) initiale requise pour assurer un début de combustion réel au PMH du moteur, avec un délai d'inflammation de 0,8 ms (milliseconde) :
- au ralenti, à 840 tr/min ;
- à la vitesse maximale de 4 800 tr/min.

– Au ralenti :

• Nombre de tours du volant en 1 s = $\frac{840}{60}$ = 14 tours/seconde.

• Nombre de degrés du volant en 1 s = 14 × 360° = 5 040 degrés/seconde (radians/seconde).

• Avance initiale théorique au ralenti : $\frac{5\,040 \times 0{,}8}{1\,000} = \boxed{4{,}03}$ degrés à 840 tr/min.

– À la vitesse de 4 800 tr/min

Même démonstration, soit : $\frac{4\,080}{60}$ = 80 tr/s, 80 × 360° = 28 000 degrés/seconde ;

soit = $\frac{28\,800 \times 0{,}8}{1\,000} = \boxed{23{,}04}$ degrés à 4 800 tr/min.

Il faut donc avancer le début de l'injection de : 23,04 – 4,03 ≃ 19° entre la vitesse au ralenti et 4 800 tr/min pour conserver un début de combustion au PMH.

Moyens employés sur les équipements traditionnels

1 Avance en fonction de la charge

Employé sur les moteurs à régime constant (groupes électrogènes), le point d'injection varie en fonction du débit injecté et donc de la charge appliquée au moteur **(fig. 11.1)** (*pistons* « auto-avance » sur *pompes d'injection* en lignes ou cames sur pompes distributrices ; voir **fiches 37 à 48**).

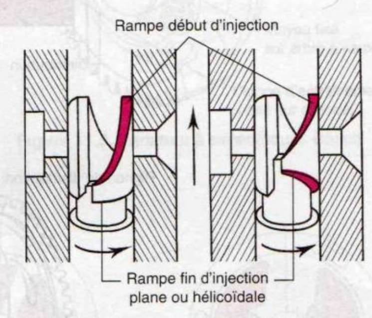


Figure 11.1. Piston auto-avance

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Les *pompes d'injection* doivent comporter des dispositifs automatiques pour optimiser le point d'*avance* à l'injection selon les différents états de fonctionnement.

Selon qu'il s'agit d'un moteur à régime stable avec charges variables (groupes industriels ou électrogènes) ou d'un moteur avec variations continuelles de régime et de charge (utilisations routières, agricoles, etc.), plusieurs moyens sont employés.

2 Avance pilotée par la pression d'huile du moteur

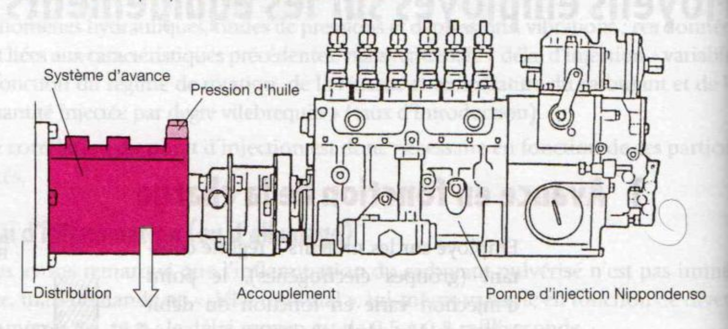
La modification du point d'avance est assurée par des cannelures hélicoïdales inversées sur l'arbre de pompe d'injection par rapport à l'*arbre d'entraînement*.

Une soupape centrifuge commande le retour d'huile (chute ou hausse de pression) en fonction des définitions du constructeur (moteurs dépollués, avec augmentation de l'avance sur la plage du couple) **(fig. 11.2)**.

De nouveaux systèmes à pilotage électronique (pression d'huile) permettent d'obtenir une grande précision.

3 Avance en fonction du régime de rotation

C'est la version la plus rencontrée, soit à commande hydraulique, incorporée dans les *pompes d'injection* distributrices ou intercalée entre l'entraînement moteur et l'*arbre à cames* de la *pompe d'injection* en ligne **(fig. 11.3)**, soit à commande mécanique (*force centrifuge* agissant sur des masses, **fig. 11.4 à 11.6**), ou à pression d'huile **(fig. 11.2)**.



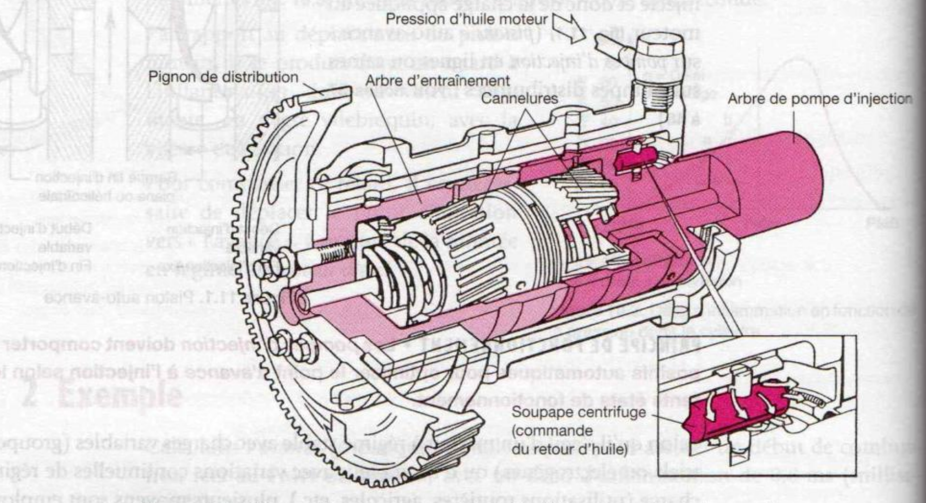


Figure 11.2. Régleur d'injection à cannelures hélicoïdales (Brevet Volvo) en position avance minimale (retour d'huile ouvert) *(Doc. Volvo)*

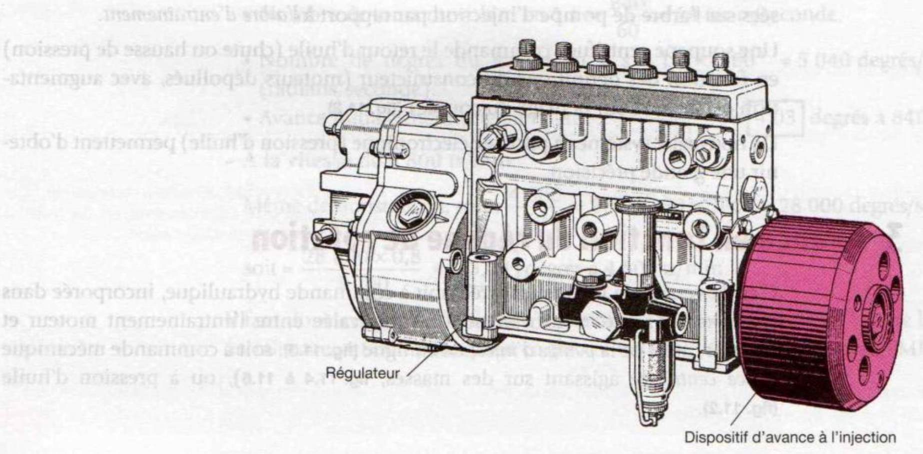


Figure 11.3. Pompe d'injection Bosch PE 6P avec régulateur RQ et dispositif d'avance à l'injection (4 ressorts)

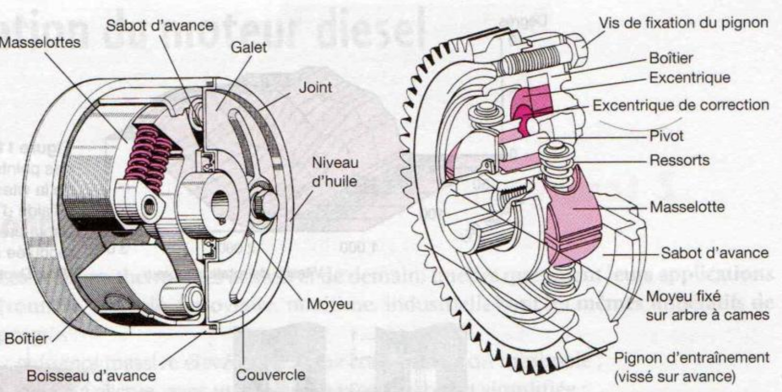


Figure 11.4. Variateur d'avance Bosch à masselottes (4 ressorts)

Figure 11.5. Variateur à excentriques Bosch

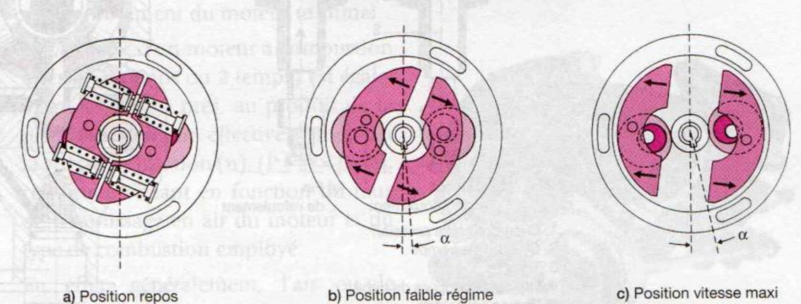


Figure 11.6. Décalages du clavetage de l'arbre à cames (α) sur la pompe d'injection en fonction des régimes moteurs

Les paires d'*excentriques* sont emboîtées dans le sabot d'avance et guidées par les bossages du boîtier.

Les *masselottes* comportent des pivots venant se loger dans les alésages des *excentriques d'avance* et reçoivent des ressorts par paire.

La force centrifuge écarte les masselottes vers l'extérieur et provoque la rotation des *excentriques*. La position du moyeu est ainsi modifiée par rapport au boîtier **(fig. 11.6)**.

Dysfonctionnements

- **Fumées blanches par coincement, ou jeu dans les dispositifs d'avances mécaniques.**
- **Bruits de claquement au niveau de l'accouplement de la pompe.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Tous les mécanismes d'avance qui agissent par action sur l'arbre à cames de la pompe, doivent supporter des efforts très grands et sont de conception robuste. Ils doivent en effet vaincre non seulement l'effort constant de l'arbre de commande mais aussi les efforts périodiques considérables dus aux injections successives.

4 Avance en fonction du combiné : charge + régime

Il est de plus en plus fréquent de rencontrer cette combinaison sur les équipements avec pompes distributrices ou pompes en lignes, l'assistance de l'électronique permettant l'optimisation instantanée du point d'injection selon une cartographie mémorisée dans une unité centrale de commande **(fig. 11.7 à 11.10)**.

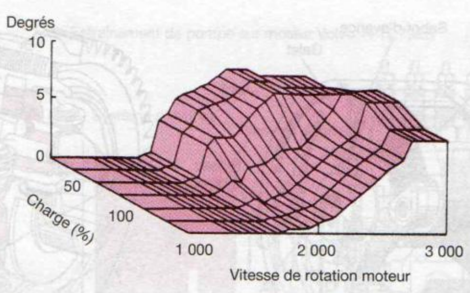
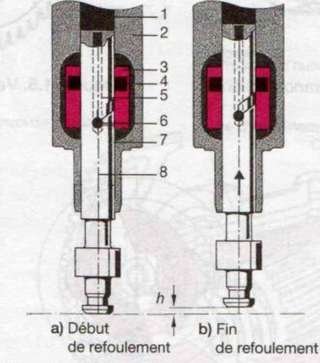


Figure 11.7. Exemple de cartographie des points d'injection en fonction de la vitesse et de la charge obtenue à l'aide d'une avance commandée par la pression d'huile moteur, modulée à l'aide de l'électronique *(Doc. Denso ECD – P1)*



1. Chambre haute pression
2. Cylindre de pompe
3. Tiroir
4. Orifice de coupure de débit
5. Rampe hélicoïdale
6. Orifice de décharge
7. Galerie d'alimentation
8. Piston de pompage

h. Course

Figure 11.8. Fonctionnement d'un élément de pompage Bosch « à tiroir », la commande du tiroir étant pilotée par l'électronique *(Doc. Bosch)*

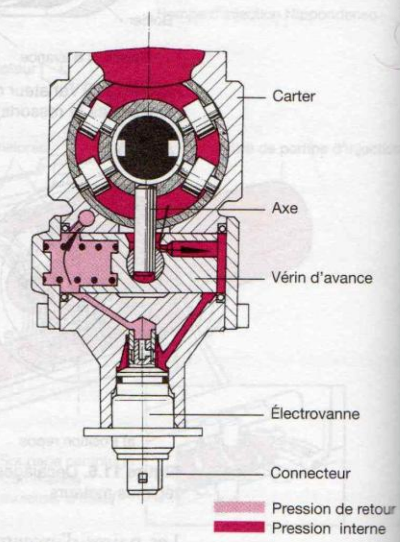
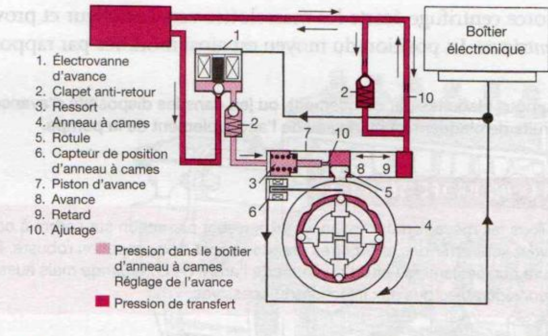


Figure 11.9. Commande de l'avance sur une pompe d'injection Bosch VE à régulation électronique (EDC)



1. Électrovanne d'avance
2. Clapet anti-retour
3. Ressort
4. Anneau à cames
5. Rotule
6. Capteur de position d'anneau à cames
7. Piston d'avance
8. Avance
9. Retard
10. Ajutage

Pression dans le boîtier d'anneau à cames Réglage de l'avance

Pression de transfert

Figure 11.10. Système de commande de l'avance à pilotage électronique sur une pompe d'injection EPIC (Delphi-Diesel) *(Doc. Ford)*

Dysfonctionnement

- **Fumées, manque de puissance, par défectuosité de pression (pour VE ou EPIC) ou des électrovannes de commande (EPIC DPC-N).**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Ces systèmes sont beaucoup plus précis, et permettent une nette amélioration de lutte contre les pollutions et les particules.
- La recherche de panne s'effectue avec des appareils électroniques.

12

Suralimentation du moteur diesel

1 Fonctionnement

Les moteurs thermiques actuels et de demain, quelles que soient leurs applications (routière, agricole, ferroviaire, maritime, industrielle) ont les mêmes impératifs de progrès :

- *puissance* massive élevée, liée à une consommation minimale ;
- fiabilité accrue, avec une maintenance espacée et simplifiée ;
- réduction des émissions de polluants et du bruit de fonctionnement (normalisation internationale de plus en plus rigoureuse) ;
- encombrement du moteur minimal.

La *puissance* d'un moteur à combustion interne (4 temps ou 2 temps) est égale, à un coefficient près, au produit de la pression moyenne effective (pme) par la vitesse de rotation (n), (P = n × pme), cette pme variant en fonction du taux de remplissage en air du moteur et du type de combustion employé.

En effet, généralement, l'air ou le mélange carburé est admis dans le cylindre par l'effet d'aspiration dû au cylindre lui-même pendant la *course « admission »* du *piston*.



Figure 12.1. Turbo compresseur KKK avec régulateur de pression pneumatique

Si on considère, qu'à faible régime, le volume d'air ou de mélange admis est à peine inférieur à la cylindrée, il n'en est pas de même pour la vitesse correspondant à la puissance maximale où le volume correspond environ à 60 % de la cylindrée.

Une augmentation de la puissance du moteur à une même vitesse de rotation est donc possible en favorisant le taux de remplissage en air des cylindres, par divers procédés **(fig. 12.2b)** :

- amélioration du remplissage au temps « aspiration » ;
- multiplication du nombre des *soupapes* (3 ou 4 par cylindre, dont 2 d'admission) ;
- montage d'une distribution « variable » ;
- études et modifications des *conduits d'admission* d'air afin d'obtenir une alimentation par « oscillations » ou par « résonance » ;
- précompression de l'air ou « *suralimentation* » : elle consiste à introduire de l'air dans les cylindres à une pression contrôlée, supérieure à la pression atmosphérique **(fig. 12.1)**.

Ce principe connaît actuellement un engouement extraordinaire. Cependant, les premiers travaux remontent à 1905 et on les doit au suisse Alfred Büchi.

Dysfonctionnements

- **Il faut moins de 10 secondes pour détruire un *turbocompresseur* tournant sans huile !**
- **Fumée bleue, bruit ou sifflement anormaux, manque de puissance, sont souvent les symptômes d'une défection du turbo.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le *turbocompresseur* est fiable, à condition de respecter certaines règles de conduite et d'entretien, sans lesquelles une destruction rapide peut intervenir.
- L'échange d'un *turbocompresseur* ne doit pas s'effectuer avant de connaître la raison de défaillance de celui qui est en panne.

2 Compresseurs de suralimentation

Trois types sont particulièrement utilisés et tendent vers un même but malgré des conceptions différentes :
- appareils du type volumétrique entraînés mécaniquement ;
- appareils du type centrifuge qui comportent une turbine entraînée par les gaz d'échappement et accouplée directement à un *compresseur* (*turbocompresseur*) **(fig. 12.1)** ;
- appareil à « ondes de pression » (différence de pression entre l'admission et l'échappement) appelé également « échangeur de pression ».

AVIS DU PROFESSIONNEL

- On a constaté, à la suite de nombreuses expériences, qu'il est impossible de suralimenter inconsidérément n'importe quel moteur conçu pour fonctionner en « aspiration ». À la suite de la suralimentation, l'augmentation de la pression moyenne sur les pistons impose une charge plus importante sur l'équipage mobile, ce qui entraîne en particulier des ennuis de graissage et de refroidissement, accompagnés bien souvent d'une « casse » importante des principales pièces mobiles.

En règle générale et lorsque le moteur a été conçu et homologué par le constructeur, la *suralimentation* procure les avantages suivants :
- amélioration des performances et de la *puissance* spécifique (plus d'air/plus de carburant) ; possibilité d'un *couple élevé* à bas régime **(fig. 12.2a)** ;
- réduction des imbrûlés et des rejets polluants (diminution des fumées) ;
- conservation des performances en altitude **(fig. 14.3)** ;
- réduction de 15 à 20 % de l'encombrement du moteur à puissance égale ;
- économie de 5 à 10 % de carburant **(fig. 12.2a)** ;
- réduction du niveau sonore par nivellement des pulsations à l'échappement et silencieux d'admission dans la version « air refroidi » **(fig. 16.1)**.

La réduction de la vitesse de rotation pour une même puissance moteur est également un facteur favorable à la diminution du bruit.

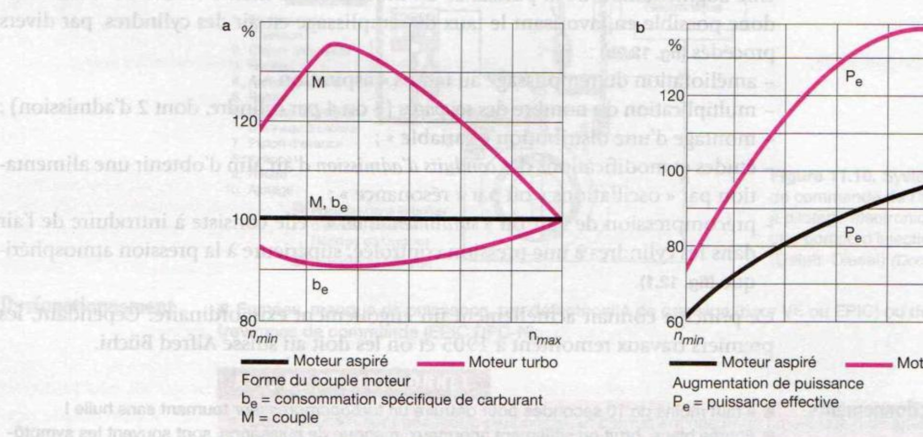


Figure 12.2. Comparaison des courbes de couples et de puissance entre un moteur aspiré et un moteur suralimenté *(Doc. KKK)*

Compresseurs volumétriques

1 Fonctionnement

Ces appareils, entraînés par le moteur **(fig. 13.1 à 13.4)** permettent d'obtenir une pression dès le début de l'accélération du moteur (*couple* important à bas régime), mais la puissance absorbée à régime élevé est importante, par rapport à un débit d'air limité. Actuellement, il est fréquent de rencontrer des équipements mixtes (compresseur volumétrique + *turbocompresseur*, afin d'obtenir un *couple* important sur toute la plage des vitesses).

2 Divers compresseurs

2.1 Compresseurs à vis (système Lisholm)

Deux rotors à vis, entraînés par le moteur, tournent en sens inverse, à l'intérieur d'un boitier où ils obligent l'air à circuler en se comprimant côté sortie **(fig. 13.1)**.

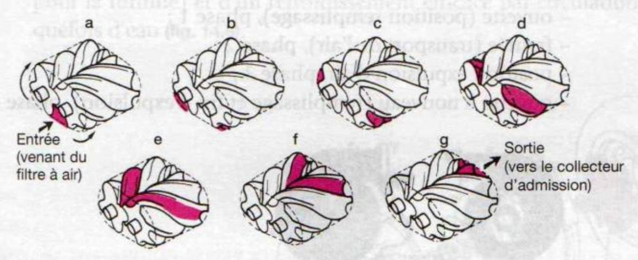


Figure 13.1. Fonctionnement d'un compresseur à vis

2.2 Compresseurs à lobes (système Roots)

Fonctionnement analogue à celui du système ci-dessus, à l'aide de deux lobes tournant en sens inverse **(fig. 13.2)**.

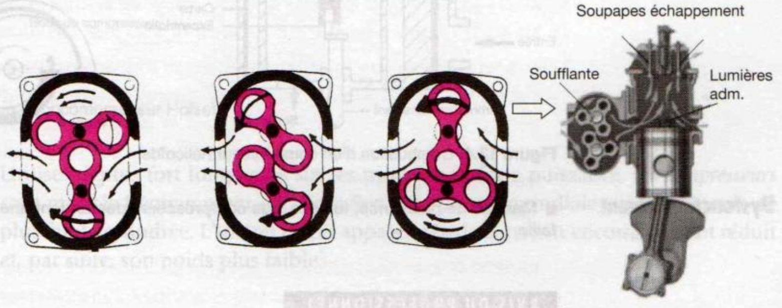


Figure 13.2. Fonctionnement d'un compresseur à lobes

2.3 Compresseurs à pistons rotatifs (KKK.RO – système Wankel)

Le rotor intérieur, entraîné par courroie, tourne de façon excentrée dans le rotor extérieur (fig. 13.3).

Les *compresseurs volumétriques* à palettes existent, mais sont très peu employés.

Position	Chambres		
	1	2	3
a	Aspiration	Début remplissage	Début détente
b	Remplie	Remplissage	Détente
c	Compression	Fin remplissage	Fin détente
d	Début détente	Aspiration	Début remplissage

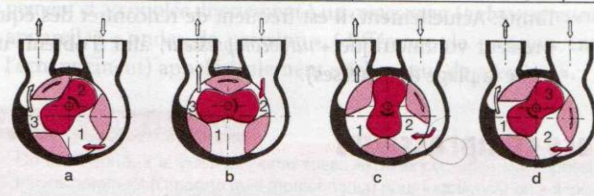


Figure 13.3. Fonctionnement d'un compresseur à pistons rotatifs

2.4 Compresseurs hélicoïdes (« spirale G », brevet Volkswagen)

Les quatre chambres de travail sont, à tour de rôle, suivant la position du rotor excentré (fig. 13.4) :

- ouverte (position remplissage), phase 1 ;
- fermée (transport de l'air), phase 2 ;
- position expulsion d'air, phase 3 ;
- ouverte à nouveau (remplissage et fin d'expulsion), phase 4.

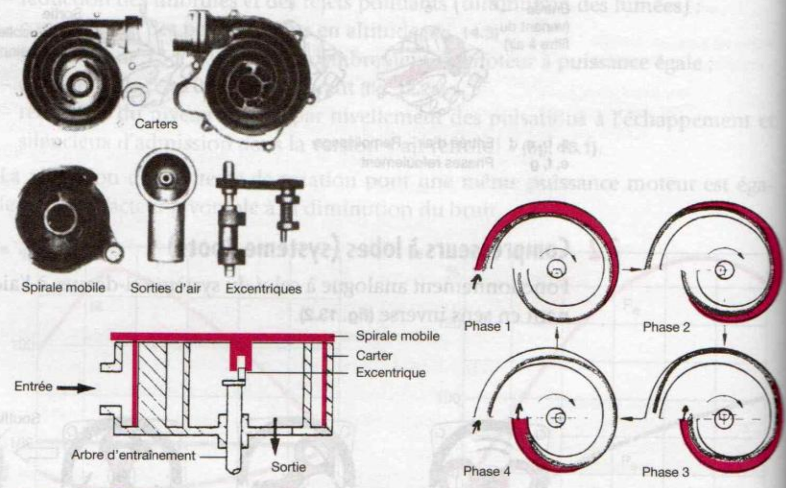


Figure 13.4. Combustion d'un compresseur hélicoïde

Dysfonctionnement

■ **Manque de puissance, fumées, ces compresseurs demandent une qualité de graissage sans faille.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les modèles à vis ou à lobes sont employés sur des moteurs industriels, à régimes lents.

Compresseurs centrifuges (turbocompresseurs)

1 Constitution

Le *turbocompresseur* est un appareil centrifuge dont le rotor (équilibré de façon rigoureuse en usine) tourne à grande vitesse (80 000 à 210 000 tr/min ou rot/min). Celle-ci étant proportionnelle à l'énergie des gaz de combustion (pour un *turbocompresseur* non régulé), et comprend des parties distinctes :

- le carter central **(fig. 14.1)** ou support, comprenant les paliers, le rotor complet équilibré, le système de graissage et de refroidissement ;
- l'étage *turbine* **(fig. 14.1)** où les gaz de combustion en provenance des *cylindres* du moteur sont canalisés vers une roue axiale (cas des gros turbocompresseurs) ou à admission radiale (turbine centripète). Ces gaz se détendent et sont récupérés pour mettre en rotation la roue de turbine, avant d'être rejetés vers la tuyauterie d'échappement **(fig. 14.4)**. Cette partie du *turbocompresseur* est soumise à des températures élevées (> à 650 °C), ce qui nécessite l'emploi de matériaux spéciaux (fonte GS pour le carter et acier réfractaire au nickel ou maintenant céramique pour la turbine) et d'un refroidissement efficace par circulation d'huile et quelquefois d'eau **(fig. 14.8)**.

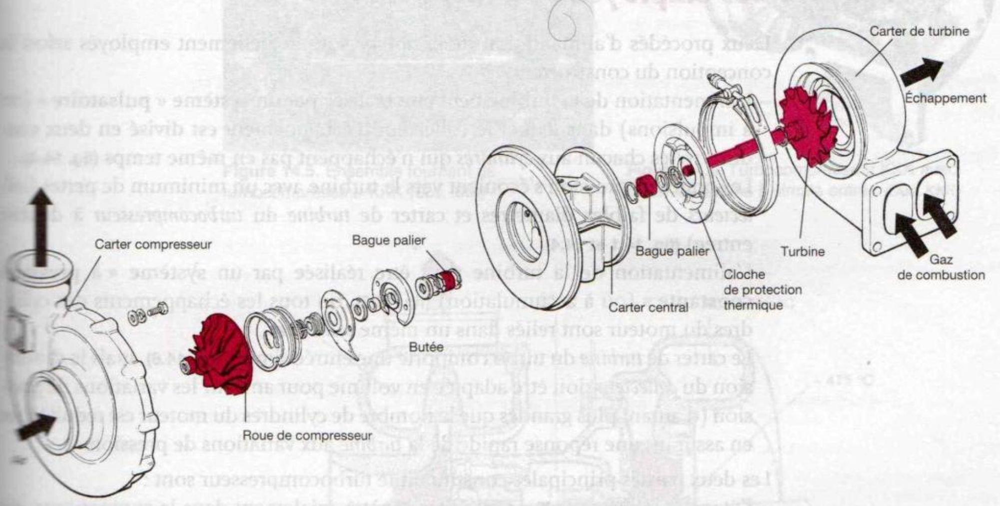


Figure 14.1. Vue éclatée d'un turbocompresseur Holset

Utilisés depuis fort longtemps sur les moteurs de forte puissance, les *compresseurs* sont montés fréquemment depuis la Seconde Guerre mondiale sur les moteurs de plus faible cylindrée. L'intérêt de cet appareil réside dans son encombrement réduit et, par suite, son poids plus faible.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Cependant, le principal avantage se situe au niveau de l'utilisation de l'énergie cinétique des gaz d'échappement pour son entraînement.

De ce fait, la suralimentation du moteur est réalisée sans aucun prélèvement de puissance. À quelques détails près, la conception des *turbocompresseurs* utilisés sur les *moteurs diesels* est pratiquement unifiée **(fig. 14.2)**. De grands progrès ont été réalisés au point de vue résistance et durée **(fig. 14.3)** et, actuellement, presque tous les constructeurs disposent de moteurs suralimentés de toutes cylindrées.

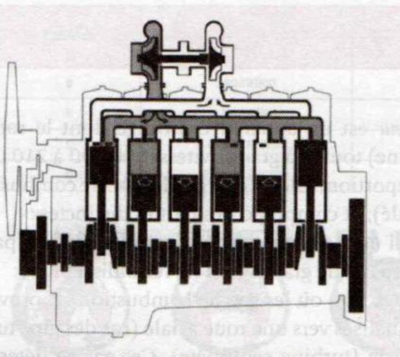


Figure 14.2. Présentation schématique du fonctionnement d'un moteur 6 cylindres à quatre temps suralimenté (système à « pression constante »)

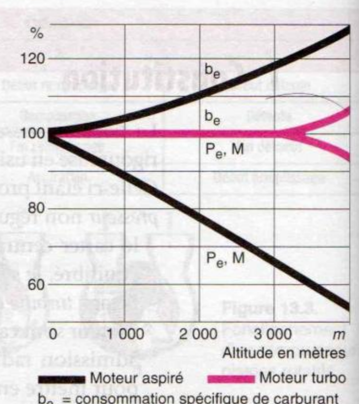


Figure 14.3. Comparaison moteur aspiré/moteur turbo en fonction de l'altitude (pression de l'air atmosphérique) *(Doc. KKK)*

2 Systèmes employés à l'échappement

Deux procédés d'alimentation de la *turbine* sont actuellement employés selon la conception du constructeur.

- L'alimentation de la turbine peut être réalisée par un **système « pulsatoire »** (ou à impulsions) dans lequel le collecteur d'échappement est divisé en deux conduits reliés chacun aux *cylindres* qui n'échappent pas en même temps **(fig. 14.4)**.
  Les ondes de pression s'écoulent vers la turbine avec un minimum de pertes (*collecteurs* de faibles diamètres et carter de *turbine* du *turbocompresseur* à double entrée) **(fig. 14.1 et 14.4)**.
- L'alimentation de la turbine peut être réalisée par un **système « à pression constante »** (ou à accumulation) **(fig. 14.2)**, où tous les échappements des cylindres du moteur sont reliés dans un même *collecteur*.
  Le carter de *turbine* du turbo comporte une entrée simple **(fig. 14.6)**, mais la dimension du *collecteur* doit être adaptée en volume pour amortir les variations de pression (d'autant plus grandes que le nombre de cylindres du moteur est réduit) tout en assurant une réponse rapide de la *turbine* aux variations de pression.

Les deux parties principales constituant le turbocompresseur sont :

- **l'étage compresseur (fig. 14.1)** : l'air pénètre axialement dans le compresseur, est mis en vitesse par la roue de *compresseur* **(fig. 14.5)** puis dévié de 90° vers le diffuseur qui transforme l'énergie cinétique acquise en pression d'air, dirigée vers le *collecteur d'admission*. Les températures de cet étage étant beaucoup plus faibles que le côté *turbine* (80 °C à 150 °C), les pièces (roue, carter) sont en alliage d'aluminium **(fig. 14.7)** ;
- **ensemble tournant** : l'ensemble turbine-arbre est dénommé « rotor » ; l'ensemble rotor-roue de *compresseur* **(fig. 14.5)** constitue « l'ensemble tournant » et demande un équilibrage parfait. Cet ensemble tourne sur « film d'huile » sans frottement, les *coussinets* (paliers) lisses montés flottants dans le *carter* central servent de guides.

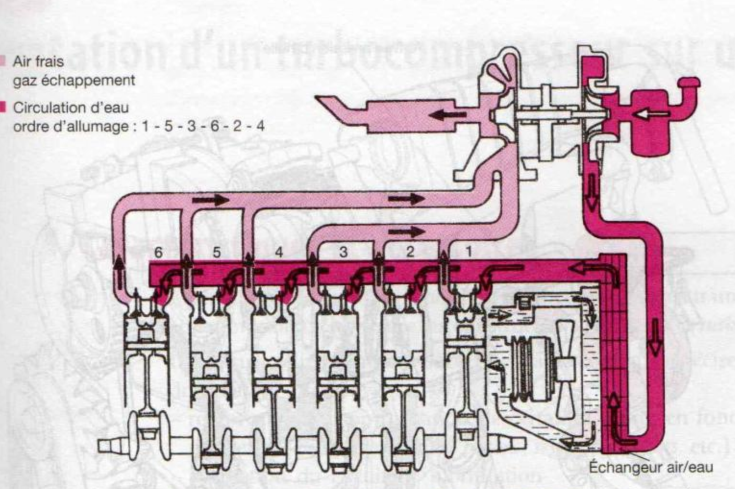


Figure 14.4. Schéma du circuit des gaz d'échappement dans le système « pulsatoire » sur un moteur 6 cylindres, avec refroidissement de l'air d'admission *(Doc. DAF)*

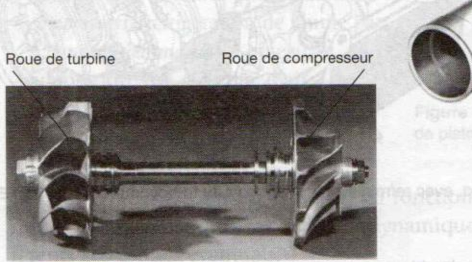


Figure 14.5. Ensemble tournant de turbocompresseur KKK *(Doc. KKK)*

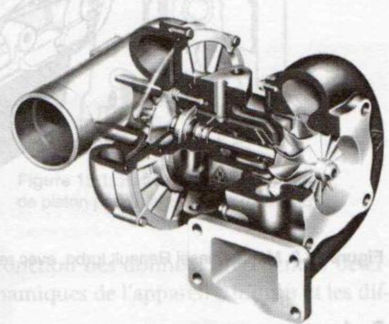


Figure 14.6. Turbocompresseur KKK avec carter de turbine à simple entrée *(Doc. KKK)*

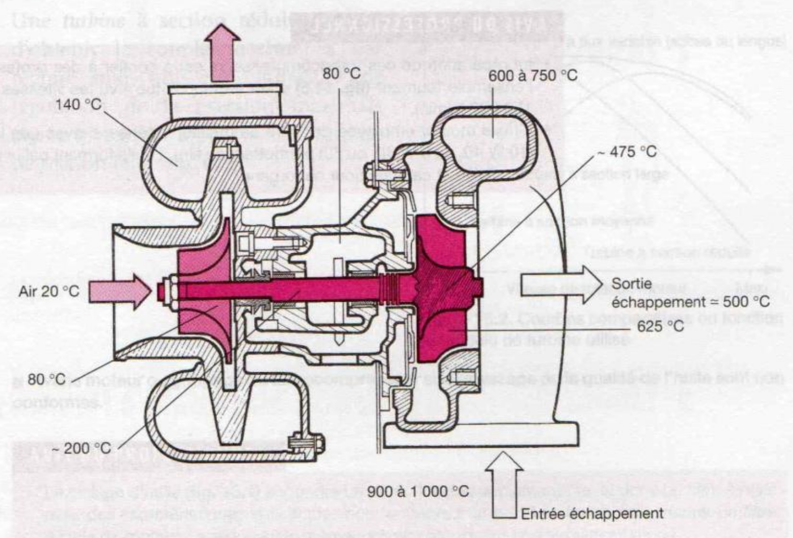


Figure 14.7. Les températures à l'intérieur d'un turbocompresseur

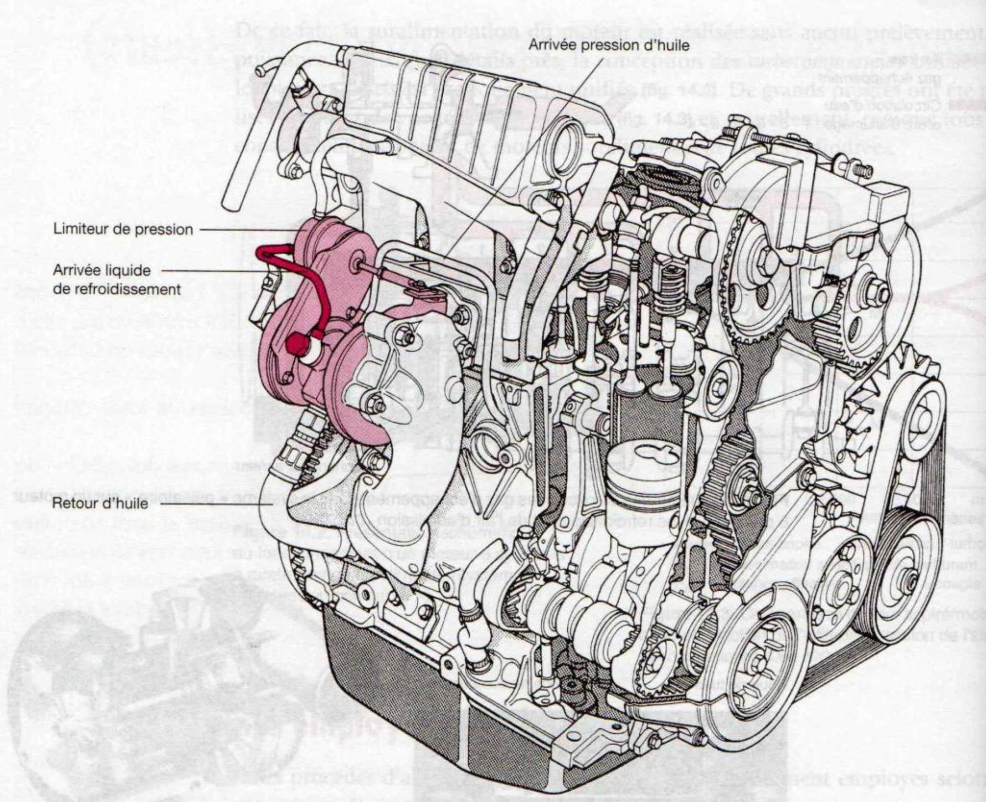


Figure 14.8. Moteur diesel Renault turbo, avec refroidissement par eau du turbocompresseur *(Doc. ETAI)*

Dysfonctionnement

■ **Fumées noire, bleue, manque de puissance, bruits anormaux, doivent déclencher un contrôle du turbocompresseur dans un atelier compétent.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La réparation de ces turbocompresseurs est à confier à des professionnels, l'équilibrage de l'ensemble tournant **(fig. 14.5)** étant très « pointue » vu les vitesses de rotation atteintes (> à 150 000 tr/min).
- L'huile moteur employée doit être de qualité supérieure, avec une large gamme de viscosité (10 W 40, ou 5 W 40, ou 50) permettant au film d'huile formant palier d'assurer une lubrification sans faille et capitale pour cet organe.

Adaptation d'un turbocompresseur sur un moteur

1 Caractéristiques et accessoires

L'adaptation *thermodynamique* d'un turbocompresseur sur un moteur demande une collaboration étroite entre les constructeurs (moteurs et *turbocompresseur*).

Le constructeur du moteur décide des caractéristiques précises *(cahier des charges)* et doit prévoir à son niveau :

- renforcement et optimisation de certaines pièces en fonction des sollicitations nouvelles (équipage mobile, *pistons, segments, paliers*, etc.) ;
- adaptation du circuit de lubrification (augmentation des débits de la *pompe à huile* et du *filtre à huile*) ; mise en place d'une rampe de « gicleurs » (refroidissement des têtes de *pistons*) **(fig. 15.1)**, liaisons arrivée/retour d'huile au *turbocompresseur* ; réfrigération de l'huile par *échangeur thermique* (air ou eau) ;
- adaptation des circuits d'air (débit, seuil de filtration du *filtre à air, échangeur thermique*, pression maximale à l'admission, etc.).

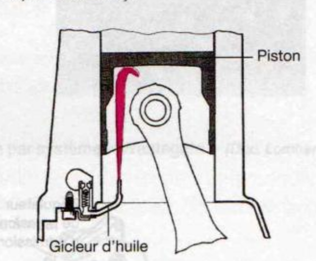


Figure 15.1. Refroidissement de la tête de piston par giclage d'huile *(Doc. VAG)*

Le constructeur du *turbocompresseur*, en fonction des données précédentes, détermine les caractéristiques **(fig. 15.2)** aérodynamiques de l'appareil à fournir et les différents accessoires éventuels.

2 Exemple

Une *turbine* à section réduite permet d'obtenir le couple maximal à bas régime, mais doit être équipée d'une régulation de la pression maximale **(fig. 15.1)**, contrairement à une turbine de section large **(fig. 15.2)**.

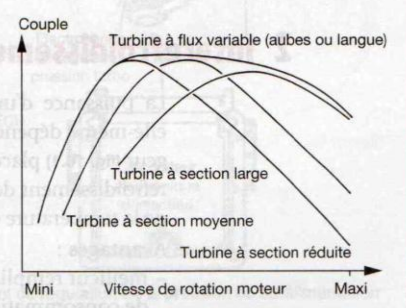


Figure 15.2. Courbes comparatives en fonction du modèle de turbine utilisé

Dysfonctionnement ■ **Avarie moteur ou grippage du turbocompresseur si le graissage ou la qualité de l'huile sont non conformes.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le giclage d'huile **(fig. 15.1)** engendre un débit d'huile supplémentaire, et donc un *filtre à huile* avec des caractéristiques spécifiques pour un moteur turbo. (Il ne faut jamais monter un *filtre à huile* de moteur « atmo » sur le même moteur comportant une suralimentation.)

Circuits de suralimentation

1 Fonctionnement

Les variantes sont nombreuses, allant du circuit simple à un ou deux turbocompresseurs (un par rangée de cylindres sur un moteur en V), quelquefois refroidis par eau, avec *échangeur de température* (air/air ou air/eau) **(fig. 14.4 et 16.1)**, muni ou non d'une régulation de la pression maximale d'admission **(fig. 16.1)** jusqu'à des circuits complexes à plusieurs *turbocompresseurs* montés en série (haute pression > 3 bar ou 300 kPa).

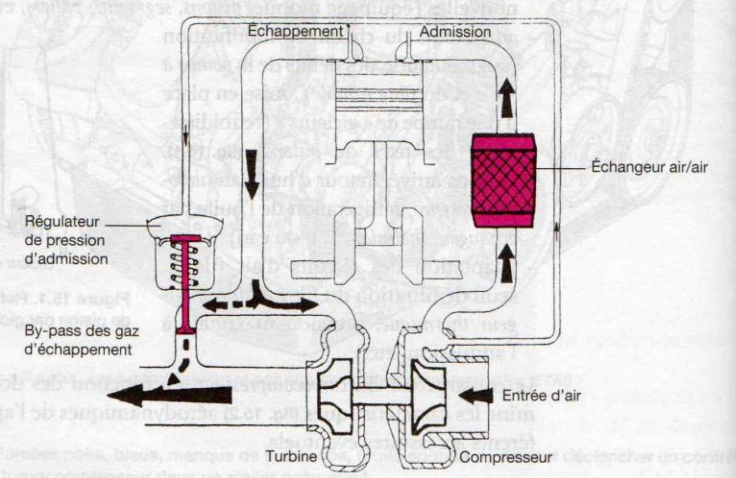


Figure 16.1. Circuit de suralimentation avec échangeur de température, et limitation de la pression maximale *(Doc. PSA)*

2 Interefroidissement (*Intercooling*)

La puissance d'un moteur thermique est fonction de la densité de l'air admis, elle-même dépendante de la pression et de la température. Un radiateur ou échangeur **(fig. 16.1)** placé en série entre le compresseur et le *collecteur d'admission*, permet le refroidissement de l'air, échauffé lors de la compression. Un abaissement de 10 °C de la température de l'air à l'entrée des cylindres permet un gain de 3 % en puissance.

Avantages :

- meilleur remplissage des cylindres, meilleure combustion, moins de pollution et de consommation ;
- réduction du bruit à l'admission du moteur.

3 Limitation de la pression maximale à l'admission

Le besoin d'obtenir un *couple maximal* à bas régime sur les moteurs de petites et moyennes *cylindrées* (meilleures « reprises »), oriente le choix vers une *turbine* à section réduite **(fig. 15.2)**, d'où l'obligation de limiter la pression à haut régime dans des limites fixées **(fig. 15.2)**.

Le système rencontré est composé le plus souvent d'une soupape (appelée « Wastegate », **fig. 16.2**) **(fig. 16.1)** commandée soit par la pression prélevée dans le *collecteur d'admission* **(fig. 16.1)**, soit à l'aide d'un « actuateur », piloté par un système électronique **(fig. 16.3)**.

a

Régulation
de la pression
de suralimentation

b

Moteur Lombardini

Figure 16.2. Turbocompresseur à régulation de pression par système « Wastegate » *(Doc. Lombardini)*

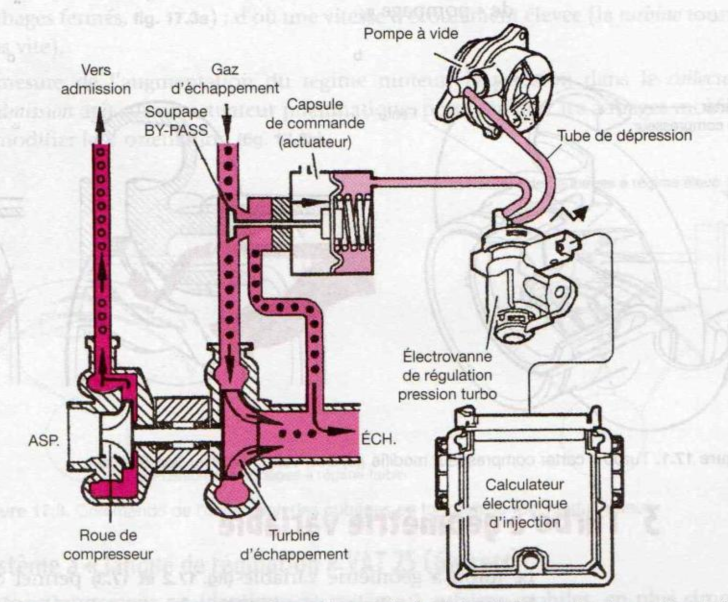


Figure 16.3. Système de commande électronique et de régulation de la pression de suralimentation *(Doc. ETAI)*

Dysfonctionnement

■ **Attention aux liaisons souples entre le *turbo*, l'*échangeur de température*, et le *collecteur d'admission* : en cas de manque de *puissance*, une coupure ou déchirure en est souvent la cause.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Il faut toujours vérifier le bon fonctionnement de la « Wastegate », et la mobilité de la tige de commande, lors d'un diagnostic électronique mettant en cause la pression de suralimentation (l'électronique ne détecte que les pannes électriques !).

Évolution des techniques de suralimentation

1 Fonction

La tendance est toujours d'obtenir le meilleur rendement global du moteur diesel, tout en réduisant la pollution.

Divers procédés équipent les véhicules récents : chambre d'aspiration modifiée, turbo à géométrie variable, etc.

2 Chambre d'aspiration modifiée

En ce qui concerne la chambre d'aspiration, une fente supplémentaire **(fig. 17.1a)** dans le carter de compresseur, permet d'adapter le débit d'air au besoin réel du turbo :

- régime élevé **(fig. 17.1b)** : entrée principale 1 + auxiliaire 2 ;
- régime bas **(fig. 17.1c)** : l'excès d'air recircule dans le turbo évitant les phénomènes de « pompage ».

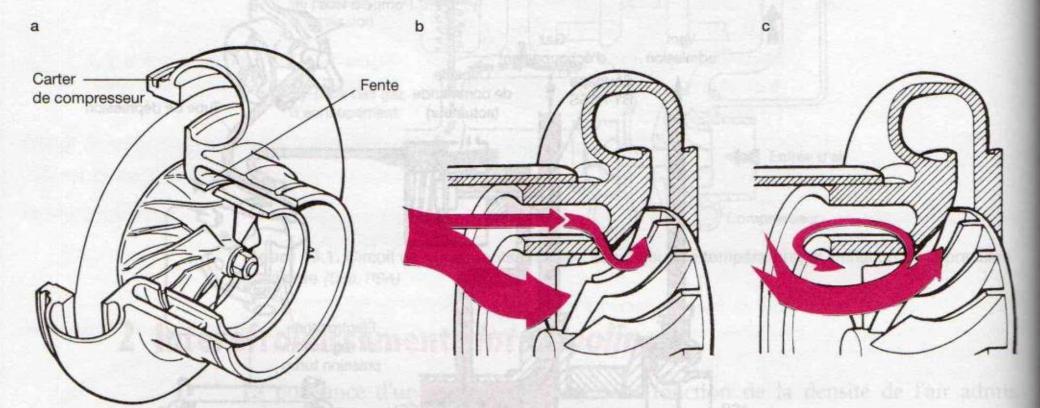


Figure 17.1. Turbo à carter compresseur modifié *((a) Doc. Volvo ; (b) et (c) Doc. Scania)*

3 Turbo à géométrie variable

Le turbo à géométrie variable **(fig. 17.2 et 17.3)** permet d'optimiser la courbe des besoins en air du moteur sur toute la plage de régime, quelle que soit la charge appliquée.

Cette technologie, complétée par une commande graduelle des *aubages* par un calculateur électronique, permet une amélioration sans égales du couple à bas régime, et de la souplesse de conduite d'un véhicule.

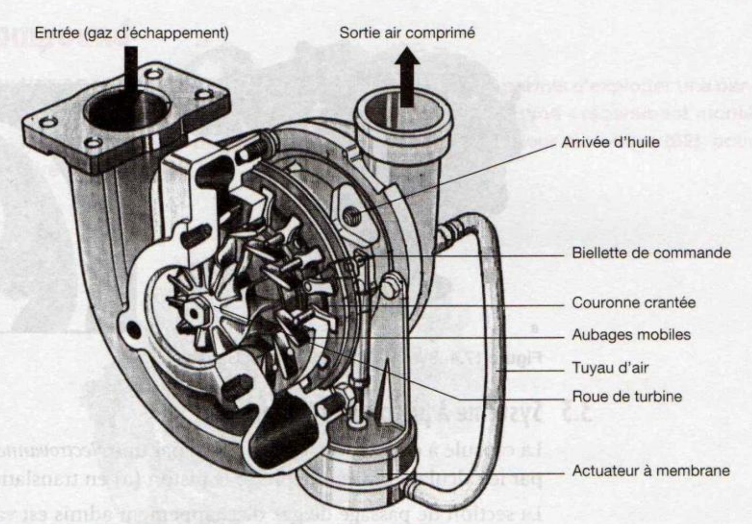


Figure 17.2. Turbocompresseur à géométrie variable *(Doc. Garrett)*

3.1 Système à aubages mobiles

À bas régime, les gaz d'échappement sont canalisés à travers de petites sections (aubages fermés, **fig. 17.3a**) ; d'où une vitesse d'écoulement élevée (la *turbine* tourne plus vite).

À mesure de l'augmentation du régime moteur, la pression dans le *collecteur d'admission* agit sur un actuateur pneumatique, pour déplacer les aubages mobiles et modifier leur orientation **(fig. 17.3b)**.

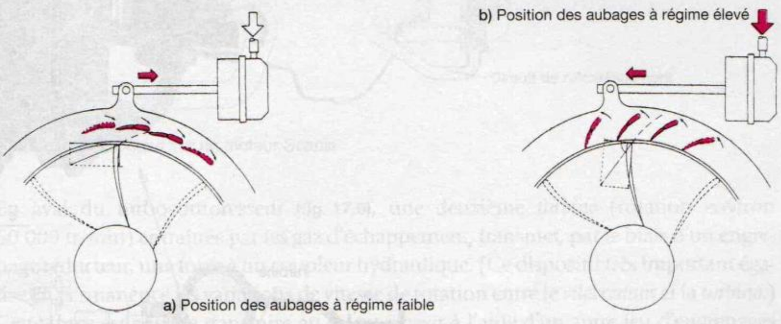


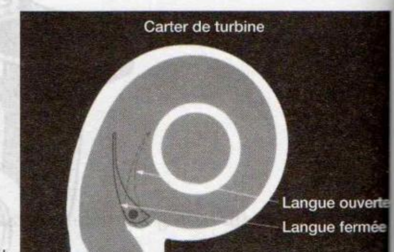
Figure 17.3. Commande de l'orientation des aubages en fonction du régime du moteur

3.2 Système à « langue de régulation » VAT 25 (Garrett)

Le fonctionnement est identique au système à aubages mobiles, en plus simple. Une seule langue est commandée par l'actuateur :

- langue en position « fermée » **(fig. 17.4a)**. Énergie maximale sur la *turbine* à faible régime du moteur ;
- langue en position « ouverte » **(fig. 17.4b)**. Perméabilité maximale aux *gaz d'échappement* à haut régime du moteur.





a b

Figure 17.4. Système VAT 25 (Brevet Garrett)

3.3 Système à piston de régulation

La capsule à dépression, commandée par une *électrovanne* proportionnelle, pilotée par le calculateur, vient déplacer le piston (a) en translation **(fig. 17.5)**.

La section de passage de gaz d'échappement admis est variable (distance « c »), la vitesse de la *turbine* est optimisée pour tous les états de fonctionnement du moteur.

Ce système de commande est très précis, et correspond aux besoins des nouveaux moteurs équipés d'une injection de type « rail commun » entre autres.

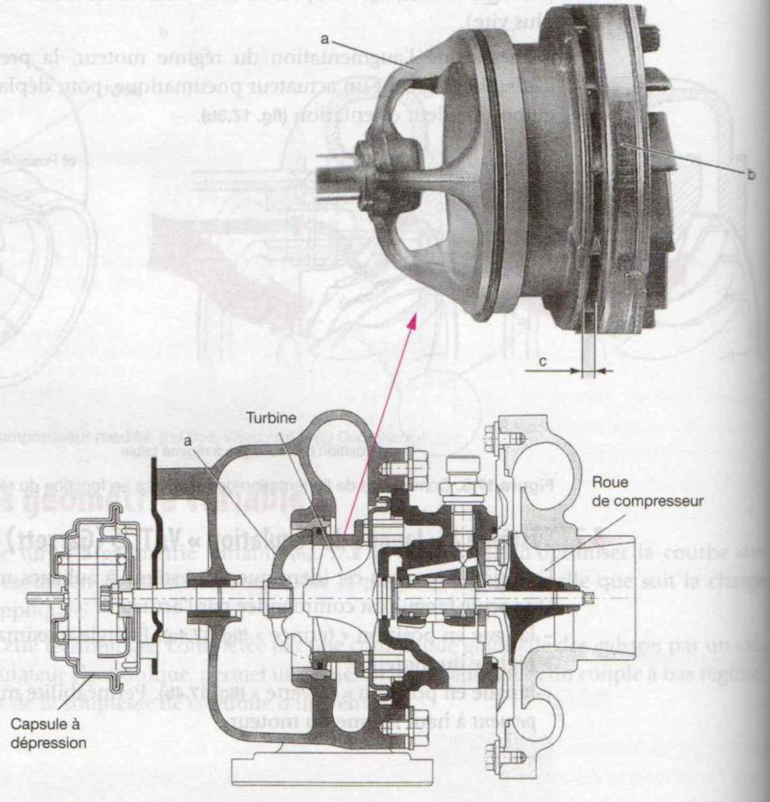
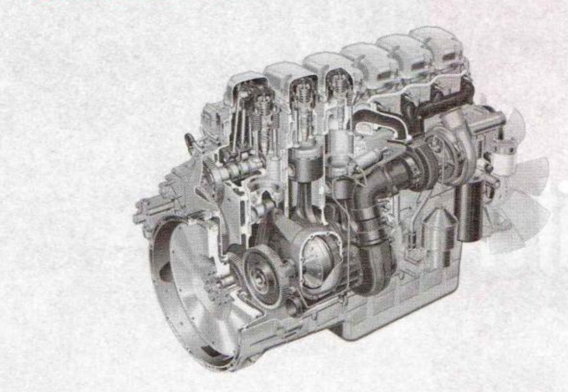


Figure 17.5. Turbocompresseur à géométrie variable, à régulation de pression par translation du piston (a), en modifiant la section de passage (c) *(Doc. PSA)*

4 Turbocompound

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • **Le *turbocompresseur* a permis d'exploiter une partie des pertes du moteur diesel. Le système « turbocompound » récemment monté en série fait à nouveau progresser le rendement de ce moteur thermique (B2), pour atteindre environ 44 %.**



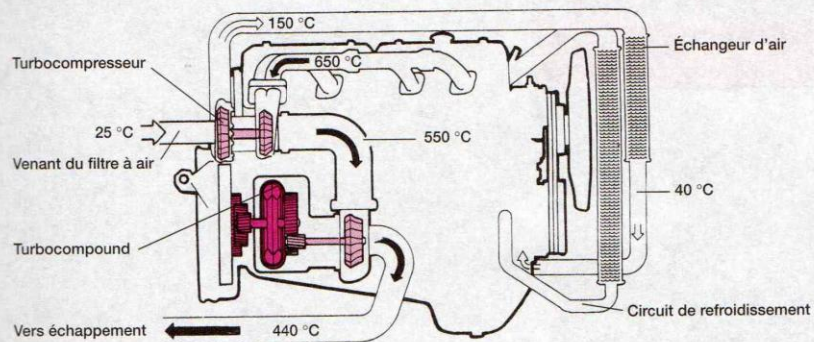


Figure 17.6. Principe du système turbocompound sur un moteur Scania

En aval du turbocompresseur **(fig. 17.6)**, une deuxième *turbine* (rotation environ 50 000 tr/min) entraînée par les gaz d'échappement, transmet, par le biais d'un engrenage réducteur, une force à un coupleur hydraulique. (Ce dispositif très important égalise en permanence les variations de vitesse de rotation entre le *vilebrequin* et la *turbine*.) Cette force est ensuite transmise au *volant moteur* à l'aide d'un autre jeu d'engrenages et permet une augmentation sensible du *couple moteur*, tout en diminuant la consommation spécifique.

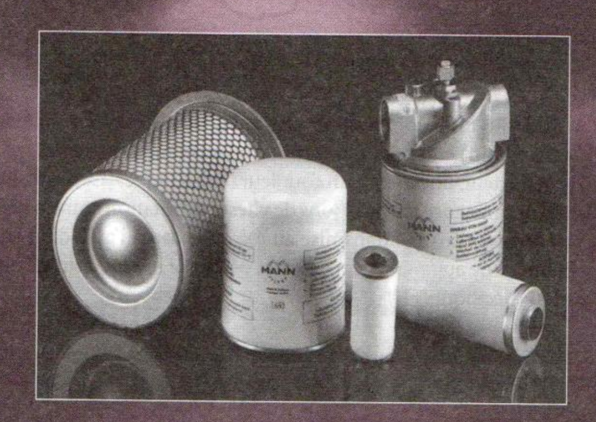
Dysfonctionnement

- Grippage des ailettes, ou piston, avec manque de puissance moteur, à-coups, fumées noires.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les systèmes de régulations de pression sont de plus en plus précis, avec ces dernières techniques, et ont amélioré de façon importante l'agrément de conduite.
- Le diagnostic doit être précis avec un essai de mobilité des éléments (ailettes, piston, etc.) avant toute dépose.

Filtration



Généralités sur la filtration

Les moteurs diesels actuels sont d'une grande fiabilité, à condition que les fluides utilisés soient conformes aux préconisations des constructeurs (huile, combustible, liquide de refroidissement), mais également que les opérations de maintenance soient respectées, en employant des produits de filtration homologués par le constructeur **(fig. 18.1)**.

La vie d'un moteur diesel (ou essence !) et des organes d'injection dépend pour une part importante de l'efficacité des moyens de protection, empêchant au maximum les particules ou poussières abrasives et les agents corrosifs (eau dans le combustible) de provoquer une usure rapide ou une destruction de certains éléments.

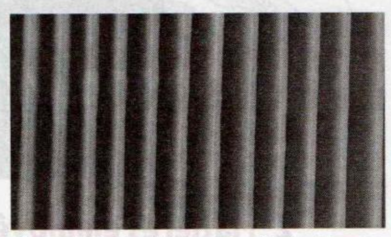


Figure 18.1. Fond de papier « plissé » Mann

1 Choix des caractéristiques d'un *filtre* et critères de comparaison

Pour l'air, l'huile ou le carburant, le choix s'effectue en fonction de nombreux paramètres comme par exemple :

- la **surface filtrante** (matière, dimensions externes, mode et géométrie de plissage, etc.) ;
- la **nature du fluide** en présence (*viscosité*, température, débit, *pression*, nature chimique, etc.) ;
- les **particules à éliminer** en fonction des organes à protéger (seuil de filtration, dimensions, nature, géométrie, concentration, etc.), l'évolution dans le temps conditionnant la maintenance (perte de charge maximale tolérée, masse des sédiments arrêtés, etc.).

Un filtre ne doit pas tout arrêter, mais simplement trier les impuretés dont les caractéristiques ne sont pas compatibles avec les jeux fonctionnels des organes à protéger.

Les principaux critères de comparaison des éléments filtrants sont les suivants.

- **Perte de charge** en fonction du débit (appelée « perméamétrie »). C'est la résistance rencontrée par le fluide porteur en traversant le filtre (mesure par différence de pression) **(fig. 18.2)**.
- **Capacité de colmatage** (ou durée moyenne de vie avant colmatage) : masse de particules retenue par le filtre sans dépasser la perte de charge tolérée.
- **Seuil de filtration** : taille moyenne des particules au-delà desquelles le filtre a un coefficient d'épuration (efficacité) d'environ 90 % en nombre.
- **Surface filtrante (fig. 18.4)** : cette caractéristique peut varier énormément malgré le même encombrement extérieur : qualité et mode de plissage **(fig. 18.4)**, épaisseur du papier **(fig. 18.3)**.

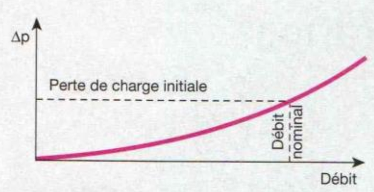


Figure 18.2. Courbe de perte de charge en fonction du débit

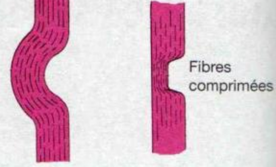


Figure 18.3. Deux procédés de fabrication permettant aux deux faces d'un pli de rester écartées en fonctionnement *(Doc. Purflux)*

Élément Mann d'origine



Élément « pirate »



Figure 18.4. Comparaison (sans commentaire) entre éléments filtrants avec papier plissé en accordéon *(Doc. Mann)*

2 Matières employées

Les filtres « fins » sont très souvent composés d'un ensemble de fibres diverses (cellulose, polyester) et microfibres de verre dont les liaisons sont renforcées par enrobage avec une résine adaptée (souvent phénolique thermodurcissable) ; cet ensemble est calibré en épaisseur avant d'être matricé, gaufré ou marqué **(fig. 18.3)** et plissé (ou enroulé) selon plusieurs méthodes (simple **(fig. 18.1)** ; chevron de la marque « Purflux », etc., **fig. 18.3 et 18.5**) de façon rigoureuse.

Le corps poreux ainsi réalisé est appelé « milieu filtrant » ou « média » ou « médium filtrant ».

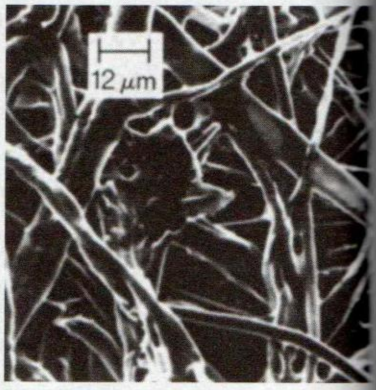


Figure 18.5. *(Doc. Purflux)*

Les seuils de filtration varient entre 2 et 20 µ (microns) selon l'emploi souhaité. Les éléments en toile, feutre ou tamis (nylon, laiton, métal) sont utilisés le plus souvent en « préfiltration », pour arrêter les plus grosses impuretés (< à 50 microns), ou séparer certains fluides (le feutre est un excellent séparateur de l'eau dans le gazole, par exemple). Enfin, le montage et le collage du papier dans un boîtier adapté doivent être réalisés sérieusement **(fig. 18.4)** pour garantir à l'utilisateur un produit de qualité.

Dysfonctionnements

- Non respect des caractéristiques d'origine, ou montage de filtres « pirates », provoquant des dysfonctionnements, ou des casses sur les matériels.
- Joints de l'élément filtrant mal monté, ou cuve mal serrée (fuites, non efficacité, prises d'air, etc.).
- Non respect des préconisations d'entretien au niveau durée de vie, ou emploi dans des conditions anormales (roulage en zone poussiéreuse par exemple pour le filtre à air et à carburant).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La qualité de filtration n'est souvent pas reconnaissable de l'extérieur !
- Les critères exigés pour obtenir une filtration optimale sont différents selon la nature des fluides considérés : carburant, air, huile de lubrification.

19 Filtres à carburant

1 Les filtres à carburant

Les jeux de fonctionnement très réduits (de 2 à 5 μm) avec des états de surface de grande qualité (pièces telles que pompe haute pression, éléments de pompage, *soupapes de refoulement, injecteurs*) exigent une filtration avec un seuil aussi réduit que possible (≤ à 5 μm), tout en restant compatible avec une durée de vie de l'élément filtrant acceptable.

Les dysfonctionnements d'un circuit de carburant peuvent être dus à des causes externes ainsi qu'à des causes internes.

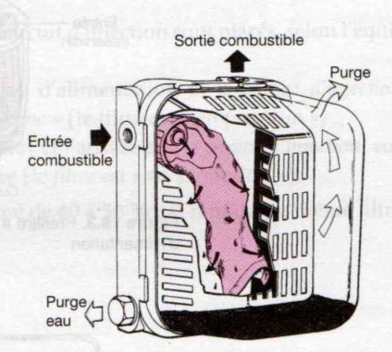


Figure 19.1. Préfiltre, séparateur d'eau modèle « S » *(Doc. Stanadyne)*

1.1 Causes externes

- Remplissage du réservoir avec du combustible pollué (mauvaises conditions de transport ou stockage, impuretés, eau de condensation, bactéries, rouille, etc.).
- Pénétration de poussières abrasives par l'orifice de remplissage ou par l'évent du réservoir (moteur travaillant en atmosphère poussiéreuse ou sableuse ; dans ce cas, un *filtre à air* doit être placé sur l'évent du réservoir).
- Pénétration de particules diverses, suite à l'ouverture du circuit de carburant sans respect des précautions de propreté.
- Condensation importante sur les parois internes du réservoir en rapport avec un taux d'humidité ambiant élevé, les conditions climatiques, la température du carburant élevée dans le réservoir (systèmes à rail commun première génération).
- Paraffinage en période hivernale.

1.2 Causes internes

- Particules diverses en provenance du système d'injection lors d'une avarie, venant se déposer dans le *réservoir* et les *canalisations* (risques de destruction de la *pompe d'injection* mise en place, ou même du moteur sur système à rail commun).
- Traces d'huile moteur dans le carburant (problème sur la *pompe d'alimentation* d'une *pompe en ligne* ou du joint à lèvres d'arbre sur une pompe distributrice).

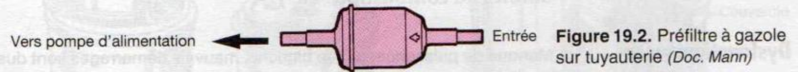


Figure 19.2. Préfiltre à gazole sur tuyauterie *(Doc. Mann)*

AVIS DU PROFESSIONNEL

- L'hiver, il convient de faire le plein du *réservoir* le plus souvent possible, pour éviter les phénomènes de condensation (eau). Plus grande est la masse chaude, plus long est le délai de paraffinage éventuel !
- Les systèmes à rail commun (« common rail »), sont très sensibles, la moindre particule incorporée dans le circuit de carburant peut avoir de graves conséquences. Les précautions de propreté de l'environnement lors de l'échange du *filtre* sont à respecter scrupuleusement.

2 Les préfiltres

Les préfiltres sont toujours placés en « aspiration » entre le *réservoir* à combustible et la *pompe d'alimentation* (fig. 19.3 à 19.4) ; leur rôle est d'arrêter les impuretés les plus grosses (20 à 80 μm selon la provenance du *réservoir* ou des canalisations).

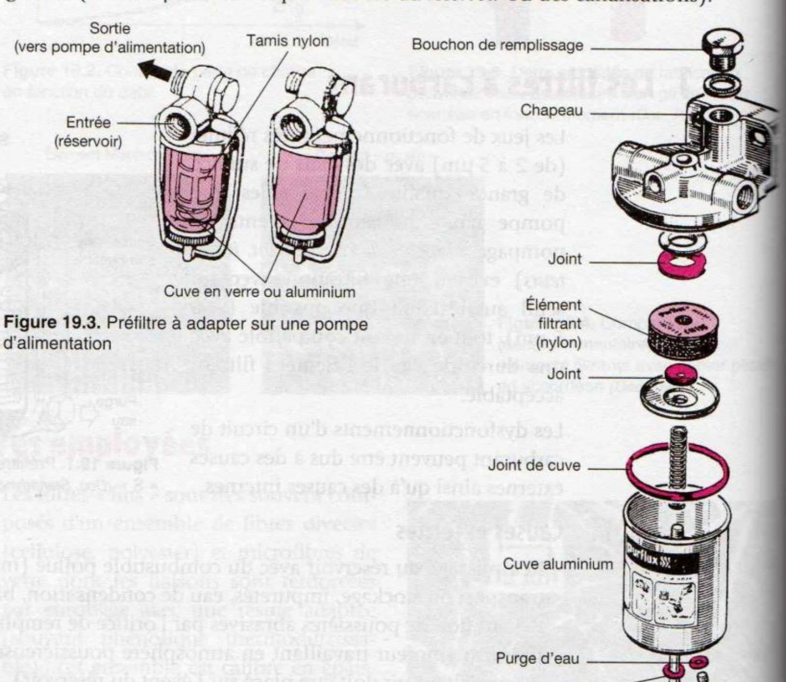


Figure 19.3. Préfiltre à adapter sur une pompe d'alimentation

Figure 19.4. Exemples de préfiltre à grande capacité de filtrage Purflux

Plusieurs solutions sont utilisées :
- *les préfiltres classiques*, à cuve en verre, aluminium (fig. 19.3) ou plastique (fig. 19.2) sont placés généralement sur le côté « aspiration » d'une pompe d'alimentation ;
- *les préfiltres à grande capacité* de filtrage (fig. 19.4), indispensables sur applications agricoles, travaux publics, etc. Un ou plusieurs éléments lavables (tissus de nylon, feutres, tamis métallique) permettent un entretien facile et peu fréquent ;
- les préfiltres décanteurs (fig. 19.1) doivent éliminer l'eau en suspension dans le combustible (en gouttes, mais également émulsifiée) à l'aide de matières connues (feutre) ou de dispositifs innovateurs (cônes de séparation, mouvements donnés au combustible, etc.).

Dysfonctionnement

■ Manque de puissance, fumée blanche, mauvais démarrages sont dus à une obturation, ou une prise d'air.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le nettoyage doit être fréquent (vidange de l'eau, lavage de l'élément filtrant).
- Un manque d'étanchéité provoque la panne appelée « prise d'air » du circuit.

Filtres classiques

1 Généralités

Ces organes principaux de protection du circuit d'injection sont placés, selon l'équipement **(fig. 20.1)** :
- entre le côté refoulement de la pompe d'alimentation et la *pompe d'injection* **(fig. 20.2)** sur un circuit avec « *pompe en ligne* » (le filtre est « en pression ») ;
- entre le *réservoir* (ou le *préfiltre* s'il existe) et l'arrivée sur la *pompe d'injection*, sur un montage avec une *pompe distributrice* (le *filtre* est « en aspiration »).

Le débit d'un *filtre* en aspiration est minoré de 40 à 50 % par rapport au même filtre employé « en pression ».

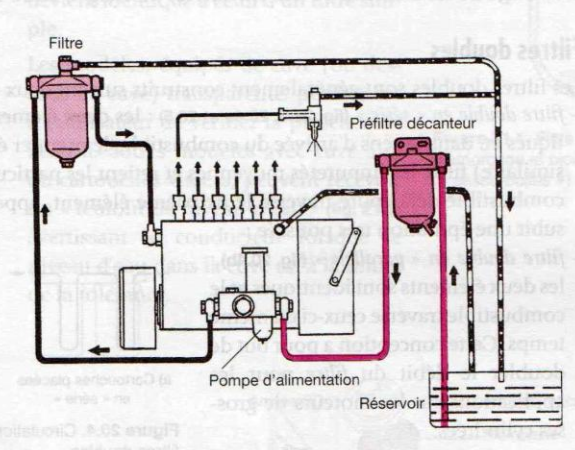


Figure 20.1. Emplacements du préfiltre et du filtre à carburant sur un équipement diesel avec une pompe en ligne *(Doc. Purflux)*

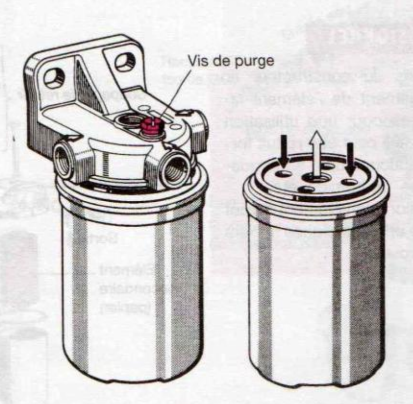


Figure 20.2. Filtre-box simple à bride en équerre et sa cartouche

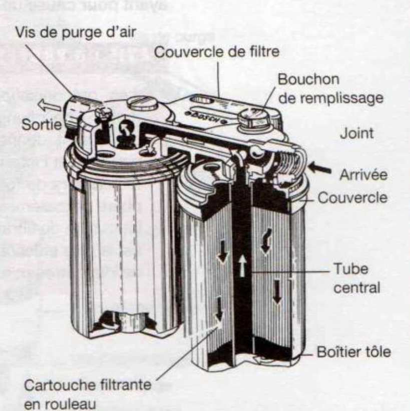


Figure 20.3. Coupe d'un filtre-box à deux étages

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Un *filtre* à carburant doit toujours être fixé verticalement, dans un endroit peu sujet aux vibrations et à la chaleur (le montage sur le moteur est à proscrire), à un niveau supérieur de celui de la *pompe d'injection*.
- Le montage d'un filtre de « grande capacité » permet d'espacer les opérations d'entretien (en fonction des conditions extérieures locales).
- La perte de charge d'un *filtre* (mesurée entre l'entrée et la sortie) ne doit pas dépasser 0,20 à 0,25 bar (1 bar = 100 kPa) au régime nominal supérieur du moteur en pleine charge.

2 Principaux modèles

2.1 Filtres simples

Suivant le type de l'élément ou « *cartouche* », il existe :
- des éléments situés à l'intérieur d'une cuve opaque en métal ou en verre **(fig. 20.5)** ;
- des éléments dits « à cartouches vissées », à échange rapide **(fig. 20.2)** ; ces *filtres* sont appelés « filtres box », et nécessitent une sangle de dévissage adaptée ;
- des éléments agrafés, de forme rectangulaire et à grande surface filtrante.

L'échange de ces éléments se fait, suivant les montages, entre 15 000 et 40 000 km.

2.2 Filtres doubles

Les filtres doubles sont généralement construits suivant deux principes :
- *filtre double en « série »* **(fig. 20.3, 20.4a et 20.5)** : les deux éléments ne sont pas identiques et, dans le sens d'arrivée du combustible, le premier élément (en feutre ou similaire) filtre les impuretés moyennes et retient les particules d'eau. Ensuite, le combustible déjà épuré traverse le deuxième élément, appelé « filtre fin », où il subit une épuration très poussée ;
- *filtre double en « parallèle »* **(fig. 20.4b)** : les deux éléments sont identiques et le combustible traverse ceux-ci en même temps. Cette conception a pour but de doubler le débit du *filtre* pour les applications sur les moteurs de grosses cylindrées.

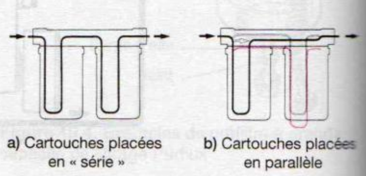


Figure 20.4. Circulation du carburant dans les filtres doubles

Dysfonctionnement

■ **Fumée blanche, manque de puissance, avance non conforme sur équipements électroniques, ayant pour cause un élément de filtre obturé.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les préconisations du constructeur en matière de changement de l'élément filtrant, sont données pour une utilisation normale, et l'intervalle peut être réduit fortement lors de fonctionnement en atmosphère poussiéreuse ou humide, etc.
- La qualité de filtration d'un élément filtrant est la plus efficace après quelques milliers de kilomètres parcourus.

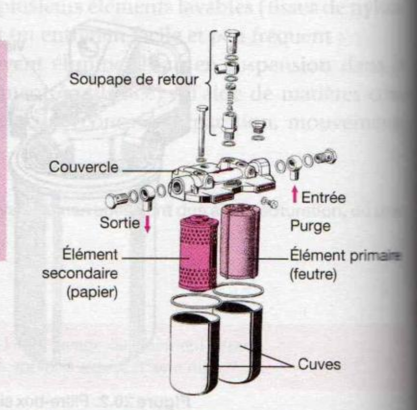


Figure 20.5. Vue éclatée d'un filtre double

Filtres avec pompes d'amorçage

Les filtres avec pompes d'amorçage sont utilisés dans les montages avec « pompes d'injection distributrices » et sont placés en « aspiration ».

Un système d'amorçage manuel est prévu pour la purge du circuit **(fig. 21.1)**. En marche normale, la dépression créée par la pompe d'alimentation incorporée dans la pompe d'injection maintient les clapets ouverts et le fonctionnement devient identique à celui d'un filtre simple.

Les modèles, équipés de cuve (ou dessous de cuve) transparente, permettent à l'utilisateur de vérifier la présence de l'eau. D'autres modèles avec cuve alu, ou cartouches vissées, peuvent recevoir un « témoin de niveau d'eau » **(fig. 21.2)** avertissant le conducteur lorsque le niveau d'eau dans la cuve est à la limite de la tolérance.

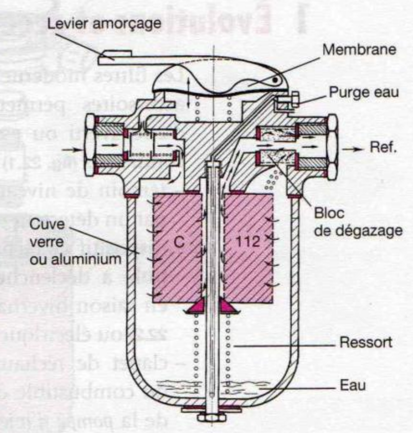


Figure 21.1. Filtre Purflux avec pompe d'amorçage et bloc de dégazage (« casse-bulles »)

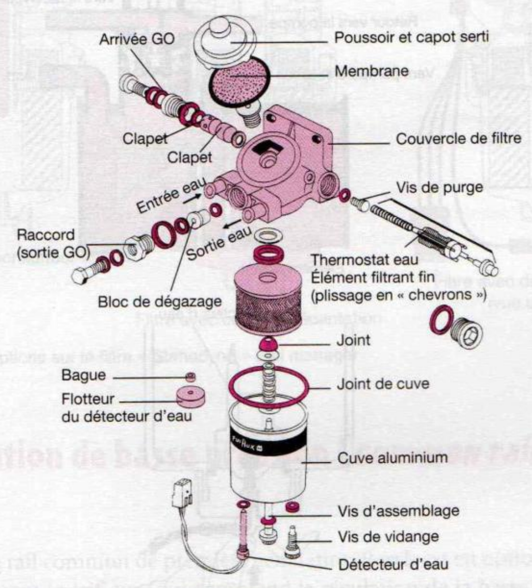


Figure 21.2. Filtre Purflux avec pompe d'amorçage, réchauffage par circuit d'eau, avec thermostat et détecteur d'eau

Filtres modernes

1 Évolutions et accessoires

Les filtres modernes comportent divers accessoires permettant à l'utilisateur d'être averti ou assisté dans certaines conditions **(fig. 22.1)** :

- témoin de niveau d'eau, commandé par un détecteur **(fig. 22.2)** ;
- dispositif de réchauffage du combustible à déclenchement automatique en saison hivernale, à eau **(fig. 22.1 et 22.2)** ou électrique **(fig. 22.3)** ;
- clapet de réchauffage : récupération du combustible de retour provenant de la *pompe d'injection* ; au niveau de l'aspiration du filtre **(fig. 22.2)** ;
- double filtration sur *filtre* à une cuve (séparateur d'eau + filtre fin) et adaptation des accessoires selon l'option désirée (Stanadyne) **(fig. 22.4)**.

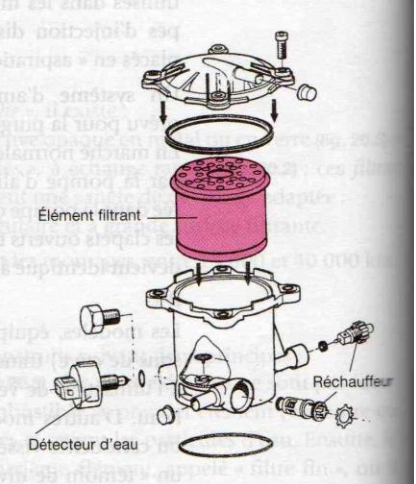


Figure 22.1. Filtre à combustible *(Doc. Delphi-Diesel)*

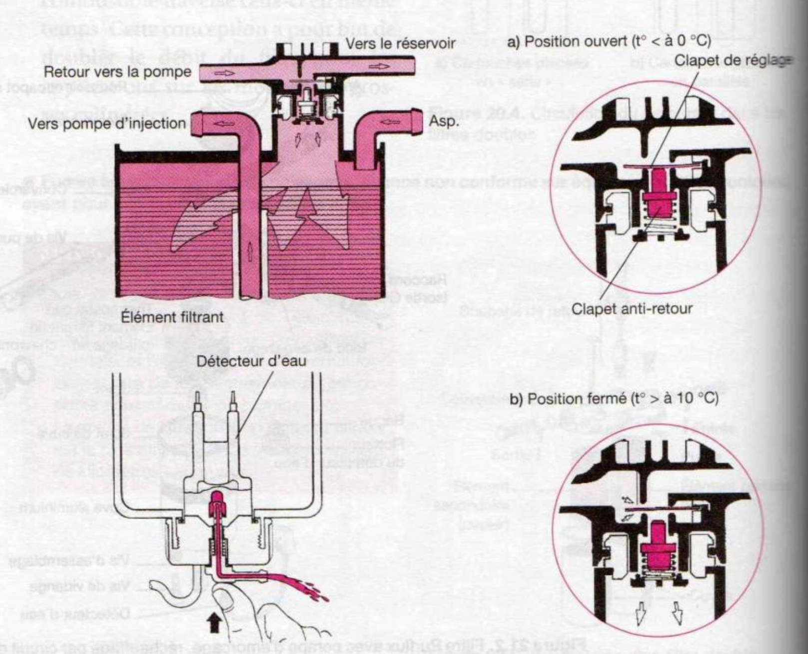


Figure 22.2. Filtre VAG avec clapet de préchauffage et purge d'eau à poussoir *(Doc. VAG)*

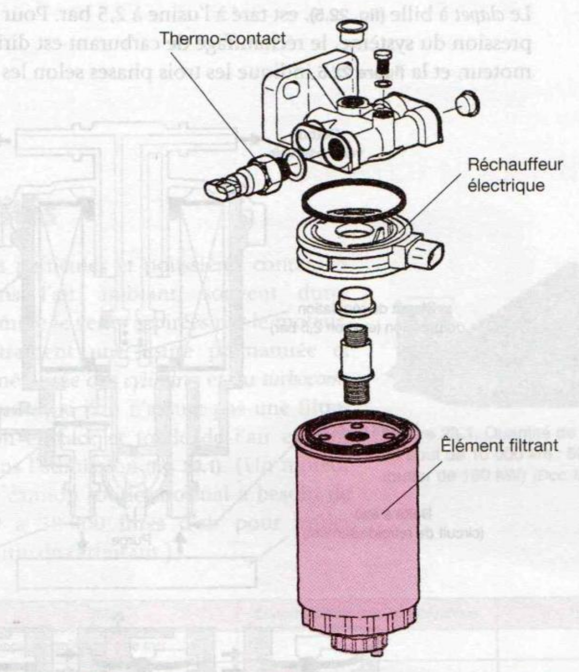


Figure 22.3. Platine de réchauffe insérée entre le couvercle et l'élément filtrant *(Doc. Delphi-Diesel)*

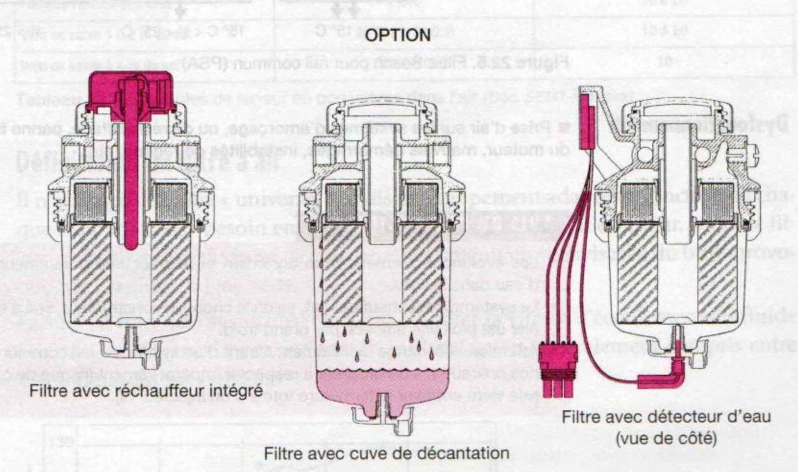


Figure 22.4. Options sur le filtre « Stanadyne » fuel manager

2 Filtre à régulation de basse pression (*common rail*)

2.1 Fonction

Le système à rail commun de première génération Bosch est en option équipé d'un *filtre* à carburant spécifique, qui comprend la régulation de la basse pression (système PSA).

Le *clapet* à bille **(fig. 22.5)**, est taré à l'usine à 2,5 bar. Pour alimenter la pompe haute pression du système, le réchauffage de carburant est dirigé vers le boîtier à eau du moteur, et la **figure 22.5** indique les trois phases selon les températures du gazole.

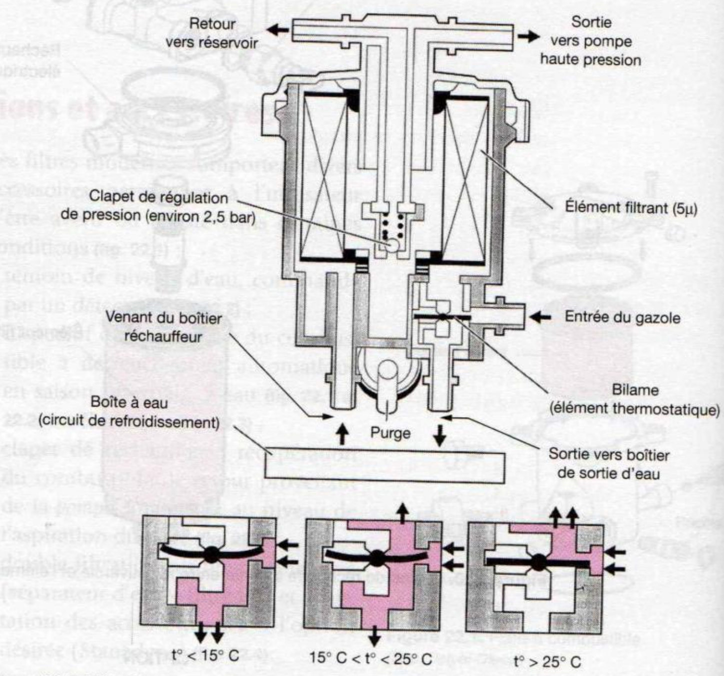


Figure 22.5. Filtre Bosch pour rail commun (PSA)

Dysfonctionnement

- **Prise d'air sur les systèmes d'amorçage, ou de réchauffage, panne fréquente, avec des arrêts du moteur, mauvais démarrages, instabilités de régime, etc.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les évolutions permettent un agrément et une sécurité notamment concernant la présence d'eau dans le filtre.
- Le système de réchauffeur est, selon le choix du constructeur, soit à eau, ou électrique, ce dernier est plus vite efficace par grand froid.
- Attention : l'échange de l'élément filtrant d'un système à rail commun (common rail), demande des précautions de propreté à respecter impérativement (risque de casse moteur si une impureté vient entraver la fermeture totale d'un injecteur !!!).

Filtres à air

1 Généralités

Les particules et poussières contenues dans l'air ambiant, souvent dures comme le verre, aspirées par le moteur, entraînent une usure prématurée et généralisée des *cylindres* et du *turbocompresseur*, si l'on n'assure pas une filtration efficace et totale de l'air entrant dans l'admission (fig. 23.1). (Un moteur de camion routier normal a besoin de 20 à 30 000 litres d'air pour brûler 1 litre de carburant.)



Figure 23.1. Quantité de poussière obtenue au bout de 10 000 km : 500 g (moteur diesel routier de 180 kW) *(Doc. Mann)*

Sites	Concentrations (mg/m^3) moyennes	10 particules (pm)
Campagne isolée, bord de mer	< 0,05	1
Ville industrielle	15	2
Sablières, cimenteries	20 à 30	30 à 40
Fumées visibles épaisses	1 000	10 à 20
Vent de sable à 0,2 m du sol	20 000 à 30 000	10 à 20
Vent de sable à 4 m du sol	1 000 à 3 000	10

Tableau 23.1. Exemples de teneur en poussières dans l'air *(Doc. SEMT-Pielstick)*

1.1 Définition d'un filtre à air

Il n'existe pas de *filtre* « universel », mais un équipement adapté en fonction de chaque cas particulier (besoin en air du moteur, environnement extérieur, seuil de filtration souhaité, périodicité de maintenance, atténuation envisagée du bruit provoqué par l'aspiration) (fig. 23.2).

La surface filtrante est calculée de façon à limiter la vitesse d'écoulement ou fluide (air) à 0,04 m/s maximum, et le seuil de filtration est généralement compris entre 2 et 5 µm pour un véhicule.

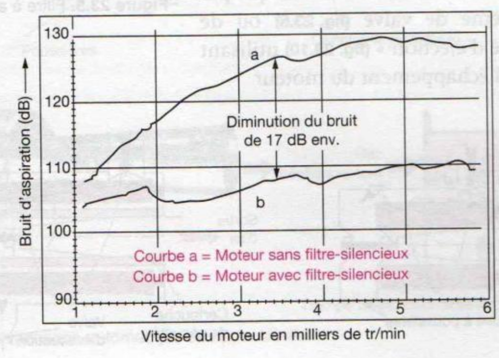


Figure 23.2. Influence du filtre à air sur le bruit d'aspiration d'un moteur *(Doc. Mann)*

1.2 Entretien

La périodicité de maintenance normale ~ DMP est de 15 000 à 30 000 km en utilisation routière (= 300 heures) mais doit être adaptée par le conducteur en fonction des conditions réelles d'utilisation (atmosphère poussiéreuse par temps sec, etc.).

2 Méthodes de filtration

Les possibilités sont nombreuses, et nous limiterons notre étude aux montages les plus fréquents rencontrés sur des applications courantes (routières, agricoles ou industrielles).

2.1 Filtres à air sec

• Montage simple

Un élément filtrant **(fig. 23.3)** interchangeable, en papier plissé ou en mousse **(fig. 23.4 et 23.5)** est placé dans un boîtier en tôle ou en plastique dur.

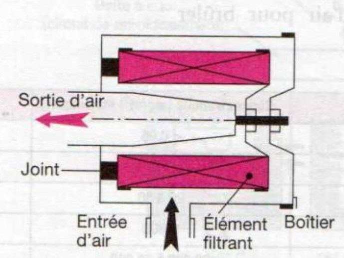


Figure 23.3. Filtre à air simple *(Doc. Purflux)*

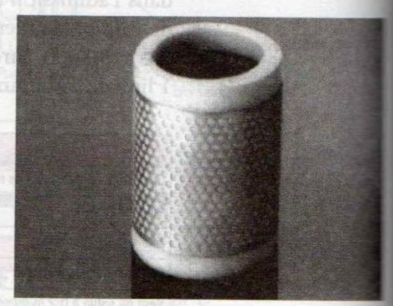


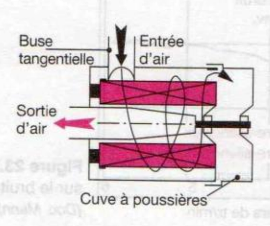
Figure 23.4. Filtre à air mousse (à imbiber d'huile au montage) *(Doc. Purflux)*

• Effet « cyclone » ou « centrifuge »

Le mouvement circulaire donné à l'air entrant dans le filtre ou le préfiltre par une buse tangentielle **(fig. 23.6)** ou des ailettes **(fig. 23.7)** permet l'élimination de 70 à 85 % des poussières avant le passage dans l'élément filtrant principal (prolongation de la durée de vie). Ces poussières sont soit stockées dans une cuve **(fig. 23.7)** à vider par l'utilisateur, soit évacuées de façon automatique par un système de valve **(fig. 23.6)** ou de « trompe d'éjection » **(fig. 23.10)** utilisant les gaz d'échappement du moteur.



Figure 23.5. Filtre à air panneau *(Doc. Purflux)*



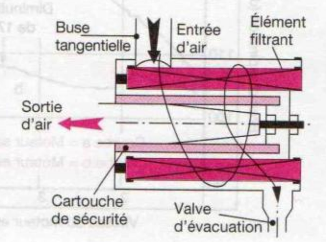


Figure 23.6. Filtre à air avec buse tangentielle

2.2 Préfiltre et cartouche de sécurité

• Préfiltre

Le préfiltre (**fig. 23.8**) est toujours composé d'ailettes (effet « cyclone ») pour séparer les poussières de l'air aspiré comme précédemment ou d'un rotor à grande vitesse expulsant les impuretés à l'extérieur.

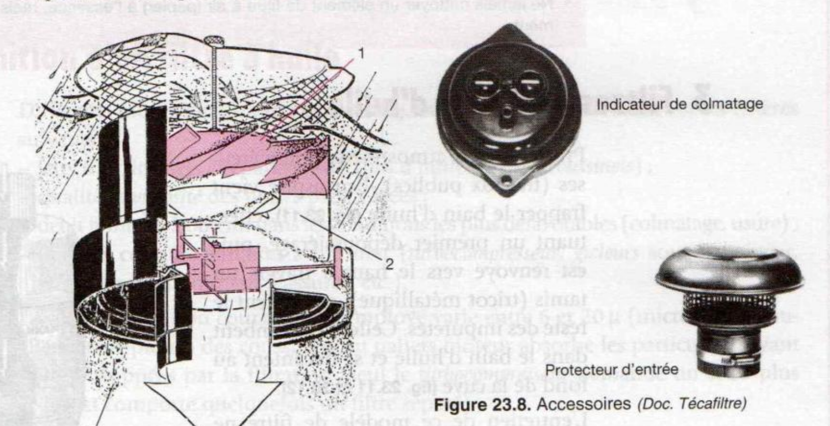


Figure 23.8. Accessoires *(Doc. Técafiltre)*

1. Ailettes (mouvement tournant de l'air)
2. Séparation des poussières
3. Évacuation des poussières vers l'extérieur

Figure 23.7. Prénettoyeur « Turbo II »

• Cartouche de sécurité (ou secondaire)

La cartouche de sécurité (**fig. 23.9**), placée au centre du filtre, reste en place lors de la dépose de l'élément principal. Son rôle est d'éviter la pénétration de poussières (entretien du filtre) ou de corps étrangers (avarie sur l'élément principal) dans le *turbocompresseur* ou le moteur.

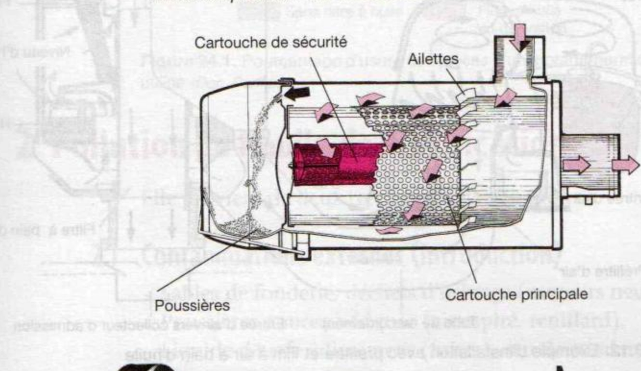


Figure 23.9. Filtre à air « sec » Mann avec cuve à poussières et cartouche de sécurité

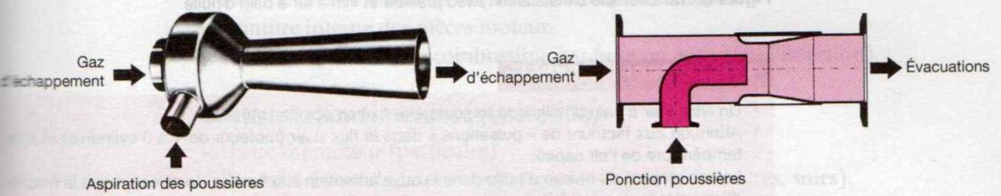


Figure 23.10. Trompe d'évacuation automatique des poussières

Dysfonctionnements

- Fumée noire, manque de puissance (filtre encrassé).
- Emballement moteur (filtre à air imbibé d'huile, ou après un nettoyage).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Il est interdit de faire tourner un moteur suralimenté sans *filtre à air* (destruction possible du *turbocompresseur*).
- Ne jamais nettoyer un élément de filtre à air (papier) à l'essence, mais le changer impérativement.

3 Filtres à air bain d'huile

Prévu pour les atmosphères poussiéreuses (travaux publics), l'air aspiré vient frapper le bain d'huile **(fig. 23.11)**, effectuant un premier dépoussiérage, puis est renvoyé vers le haut à travers un tamis (tricot métallique), qui retient le reste des impuretés. Celles-ci retombent dans le bain d'huile et se décantent au fond de la cuve **(fig. 23.11 et 23.12)**.

L'entretien de ce modèle de filtre ne demande pas de pièces :

- élément lavable : bien le sécher avant mise en service ; ne jamais le « laver » à l'essence ;
- huile moteur : ne pas utiliser d'huile trop fluide ou de vidange.

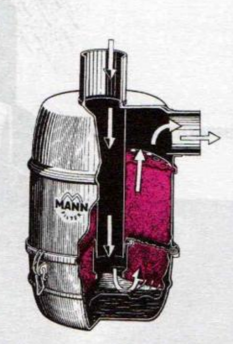


Figure 23.11. Filtre à air Mann à bain d'huile, type 31

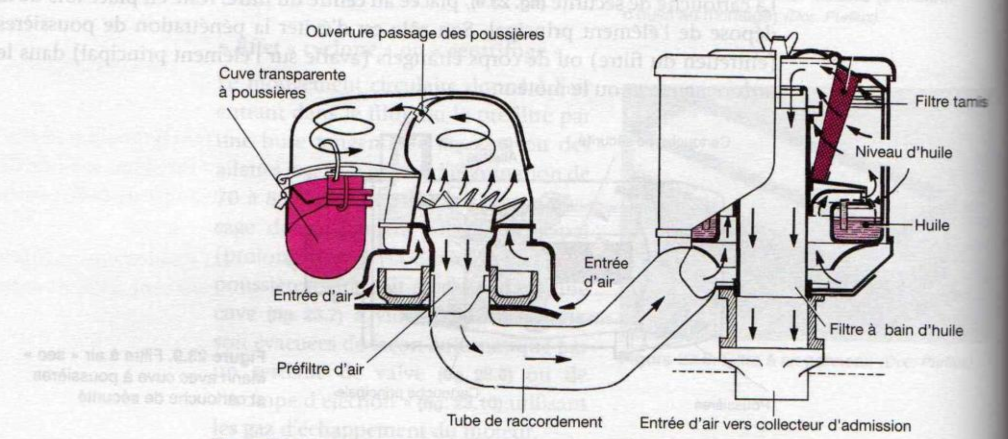


Figure 23.12. Exemple d'installation avec préfiltre et film à air à bain d'huile

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Un *filtre à air* à bain d'huile doit toujours être fixé en position verticale.
- Attention aux facteurs de « pulsations » dans le flux d'air (moteurs de 1 à 3 cylindres) et à la température de l'air aspiré.
- Le non respect du niveau d'huile dans la cuve (attention à la hausse de niveau due à la masse d'impuretés retenues) fait courir le risque d'emballement du moteur à chaud.

Filtres à huile

1 Définition d'un filtre à huile

Différents modes de filtration existent (fig. 24.1) ; la filtration est basée sur les critères suivants :

- jeux fonctionnels et épaisseur du film d'huile (*paliers, coussinets*) ;
- qualité et *viscosité* des huiles préconisées ;
- débit minimal à obtenir dans les conditions les plus défavorables (colmatage, usure) ;
- organes complémentaires à lubrifier (*turbocompresseur, gicleurs* sous les *pistons*, refroidissement moteur à assurer, etc.).

Le seuil de filtration couramment employé varie entre 6 et 20 µ (microns), la couche d'étain/plomb des coussinets ou paliers moteur absorbe les particules n'ayant pas été stoppées par la filtration (seul le *turbocompresseur* demande un seuil plus réduit et comporte quelquefois un filtre séparé).

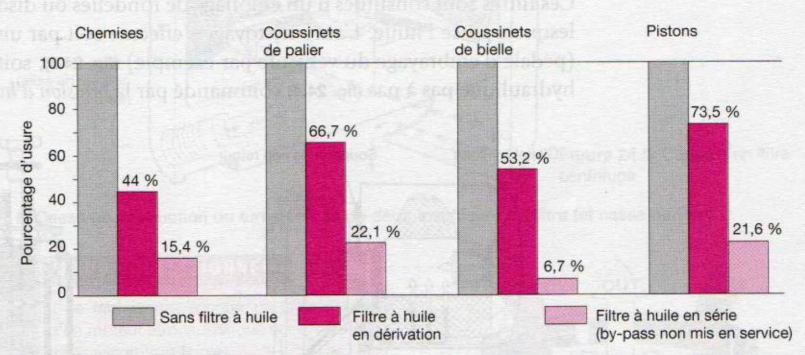


Figure 24.1. Pourcentage d'usure des pièces d'un moteur thermique en fonction du mode de filtration utilisé *(Doc. Purflux)*

2 Pollution de l'huile de lubrification

Elle provient de deux types de contaminations.

2.1 Contaminations externes (introduction)

- Sables de fonderie, déchets d'usinage (moteurs neufs ou révisés).
- Poussières atmosphériques (air aspiré, reniflard).
- Liquide de refroidissement (fuites), eau de condensation.
- Peinture interne des pièces moteur.
- Dilution (présence de combustible par fuite ou avarie sur l'injection).

2.2 Contaminations internes (génération)

- Usure du moteur (particules).
- Produits de combustion incomplète (cokes, vernis, cendres, suies).
- Produits d'oxydation de l'huile (additifs).
- Boues (eau + déchets de combustion).

La contamination d'une huile est influencée par les conditions d'utilisation du moteur (cycles à pleine charge ou au contraire petits parcours à froid ; atmosphère poussiéreuse, etc.). La périodicité des vidanges et de l'échange du filtre à huile est liée à ces conditions.

3 Méthodes de filtration

Les *filtres à huile* peuvent être classés en trois catégories, le montage s'effectuant en série ou en dérivation.

3.1 Filtres à cartouches consommables

Ce type de *filtre*, monté en simple ou en duplex est identique à un filtre à combustible avec, en supplément, un clapet de sécurité by-pass, taré de façon précise (continuité de lubrification du moteur, en cas de colmatage) et une soupape anti-retour **(fig. 24.2)** qui évite la vidange du filtre pendant l'arrêt du moteur.

Cet élément filtrant doit être remplacé périodiquement selon les préconisations du constructeur et les conditions d'utilisation du moteur.

3.2 Filtres à nettoyage automatique

Ces filtres sont constitués d'un empilage de rondelles ou disques métalliques entre lesquels passe l'huile. L'auto-nettoyage s'effectue soit par une commande à levier (pédale d'embrayage du véhicule par exemple) **(fig. 24.3)**, soit à l'aide d'un moteur hydraulique pas à pas **(fig. 24.4)** commandé par la *pression d'huile moteur*.

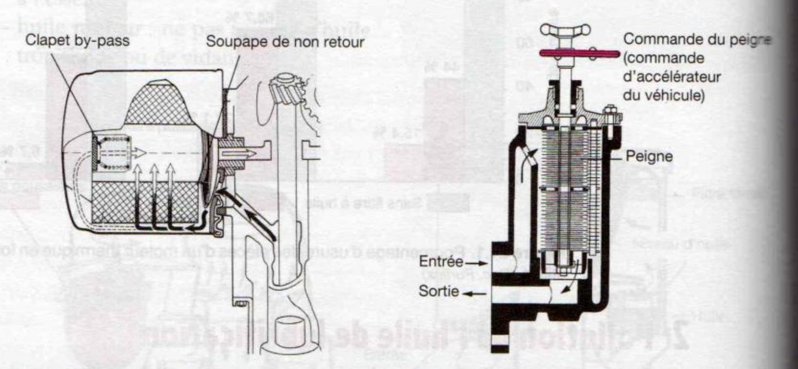


Figure 24.2. Configuration d'un filtre à huile à échange rapide *(Doc. Nauder)*

Figure 24.3. Filtre à peigne Auto-Klean

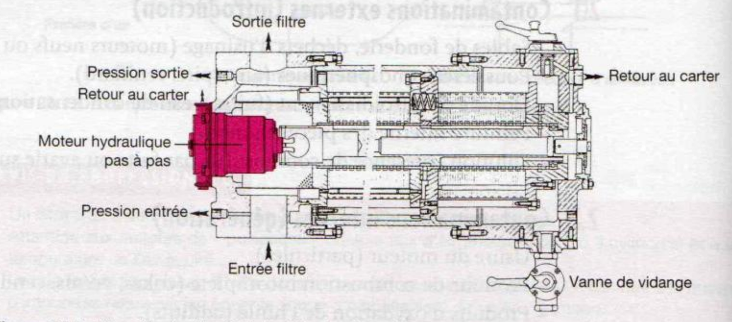


Figure 24.4. Filtre à huile Moatti à double circuit de filtration (série et dérivation) et décolmatage automatique par circulation à contre-courant *(Doc. Moatti)*

3.3 Filtres centrifuges

L'élimination de l'eau, des impuretés, des particules solides et des produits d'oxydation est obtenue par l'action de la *force centrifuge* **(fig. 24.5)**. Les dépôts se rassemblent sur les parois du filtre et sont éliminés à chaque nettoyage **(fig. 24.6)**.

La *force motrice* est fournie par l'huile elle-même entrant sous pression dans l'appareil.

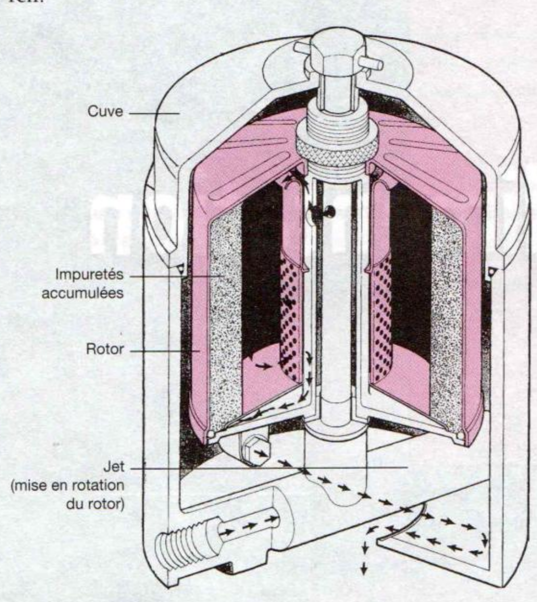


Figure 24.5. Coupe d'un filtre centrifuge

Dysfonctionnement

- Casse ou destruction du turbo en cas de débit insuffisant du *filtre* (et casse moteur).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Il ne faut jamais monter un *filtre à huile* d'un moteur atmosphérique sur un moteur turbo (débit trop faible).
- Lors d'un échange du *turbocompresseur*, il faut obligatoirement changer le *filtre à huile*.
- Il existe des *filtres à eau*, qui associent une action mécanique à l'adjonction d'agents chimiques, évitant la corrosion, le tartre et l'attaque des pièces par des acides acétique, formique ou sulfurique, se formant au contact de l'air à haute température avec les liquides antigel lorsque le joint de culasse est défectueux.

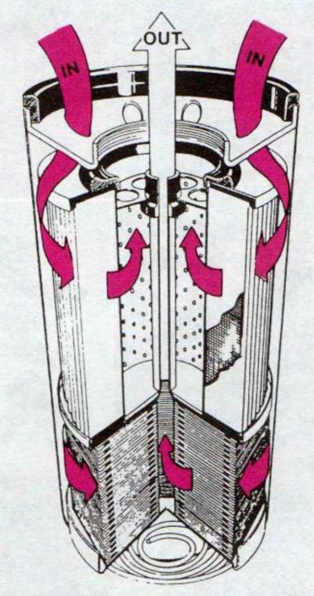


Figure 24.6. Cartouche de filtre, combiné série, dérivation Fleetguard, type LF3 000
(Doc. Fleetguard)

Alimentation



Circuits d'alimentation

Les *circuits d'alimentation* actuels et leurs composants diffèrent selon qu'il s'agit d'une *pompe d'injection* « en ligne », d'une pompe « distributrice », ou de systèmes de technologies différentes comme les « *injecteurs-pompes* », et le système à « rail commun » appelé « common rail » **(fig. 25.1)**.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Le *circuit d'alimentation* assure à l'organe destiné à fournir la haute pression (*pompe à injection*, pompe haute pression, *injecteur* pompe) une quantité de carburant suffisante, parfaitement filtrée, sans émulsion ni présence d'eau.

Il participe également à la stabilisation de la température (réchauffage, ou/et refroidissement du carburant) et, sur une *pompe « en ligne »*, à l'écrêtage des « pointes de pression en fin d'injection ».

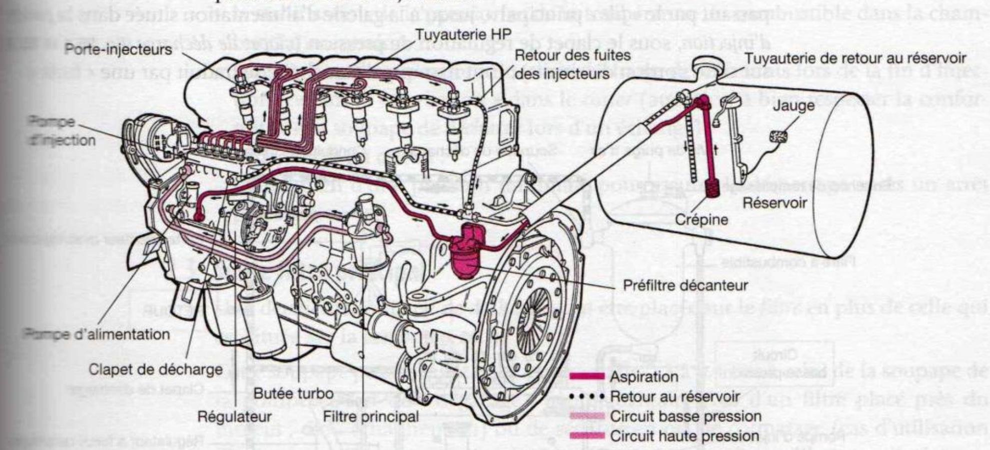


Figure 25.1. Circuit d'alimentation complet sur moteur équipé d'une pompe à injection « en ligne » *(Doc. RVI)*

La configuration de ce circuit est différente selon la technologie de l'organe de haute pression, et peut être :

- en « charge » (réservoir situé plus haut que le moteur, souvent sur les applications agricoles, ou industrielles) **(fig. 25.2)** ;
- en « aspiration » *(pompe distributrice)* **(fig. 27.1)** ;
- sous une basse pression déterminée (autres circuits, *pompe* en ligne, rail commun, *injecteur* pompe).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Sur un circuit d'alimentation « en charge », si le réservoir de carburant est placé plus de 2 m au-dessus du moteur, prévoir une électrovanne de coupure sur le raccord d'arrivée de la pompe d'injection. (Risques de fuites internes à l'arrêt dans la pompe d'injection.)

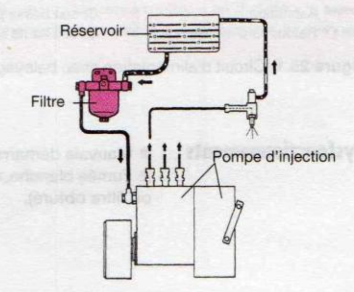


Figure 25.2. Circuit d'alimentation « en charge » *(Doc. Purflux)*

26

Circuits d'alimentation utilisés avec les pompes « en ligne »

1 Description

1.1 Circuit en « aspiration »

Cette portion du circuit est comprise entre le plongeur dans le réservoir, en passant par le préfiltre jusqu'au raccord d'aspiration de la *pompe d'alimentation* **(fig. 26.1)**.

C'est uniquement sur cette partie du circuit que l'on peut rencontrer la panne appelée « *prise d'air* » (raccord mal serré, joint défectueux, *canalisation* percée, etc.).

1.2 Circuit en « basse pression »

Circuit compris entre le côté « refoulement » de la *pompe d'alimentation* **(fig. 26.1)**, en passant par le « *filtre* principal », jusqu'à la galerie d'alimentation située dans la *pompe d'injection*, sous le clapet de régulation de pression (*clapet de décharge* **(fig. 25.1 et 26.1)** sur cette portion de circuit) ; tout manque d'étanchéité se traduit par une « fuite ».

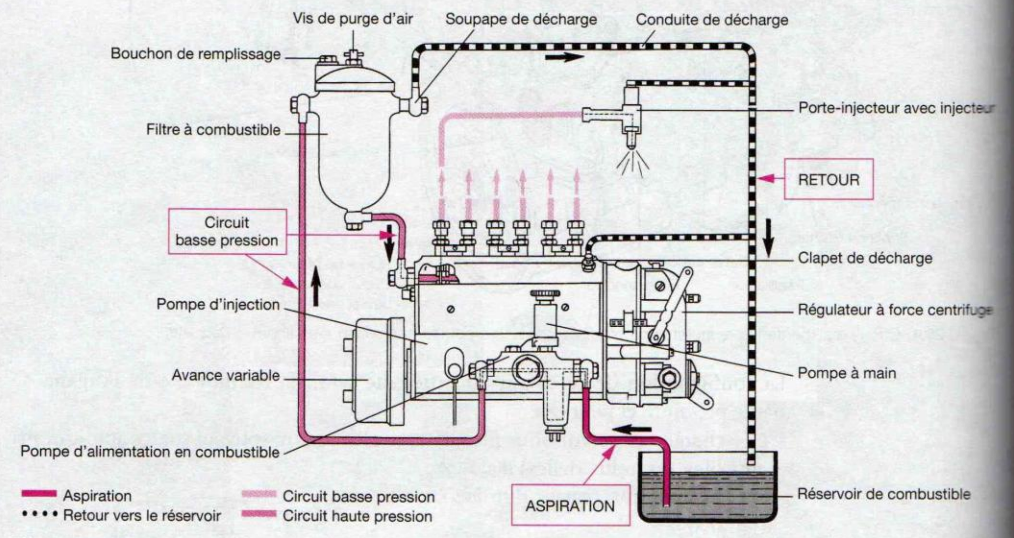


Figure 26.1. Circuit d'alimentation avec balayage du filtre et de la chambre d'aspiration

Dysfonctionnements

- **Mauvais démarrages à froid, à chaud (fuites ou prise d'air, circuit mal purgé).**
- **Fumée blanche, manque de puissance, instabilités de régimes du moteur (pression incorrecte ou filtre obturé).**

2 Particularités, fonctionnement

2.1 Dégazage

Plusieurs phénomènes peuvent provoquer le désamorçage d'un circuit (mauvais fonctionnement, irrégularités des débits).

Ces phénomènes proviennent :
- de la formation d'une émulsion due au brassage de combustible ;
- d'une éventuelle pénétration d'air provoquée par des joints, des raccords défectueux ;
- de bulles de vapeur provoquées par l'échauffement du combustible au contact des parois du *filtre* ou de la *pompe d'injection*.

Des solutions existent, en apportant des accessoires divers, sur les organes présentés ci-dessous.

2.2 Sur la pompe d'injection

Les constructeurs ont modifié en conséquence le circuit de retour, en plaçant une soupape de *décharge tarée* entre 0,8 et 2,5 bar sur la *pompe d'injection* **(fig. 25.1)**, à l'opposé du raccord d'arrivée. Cette solution permet d'assurer :
- la stabilisation de la pression et de la température du combustible dans la chambre d'alimentation ;
- l'absorption des pulsations dues à la décharge des éléments lors de la fin d'injection, évitant la « cavitation » dans le *carter* (attention à bien respecter la conformité de la soupape de *décharge* lors d'un échange) ;
- le dégazage du circuit ;
- le maintien d'une pression minimale pour assurer le démarrage après un arrêt prolongé.

2.3 Sur le filtre principal

Une deuxième soupape de *décharge* peut être placée sur le *filtre* en plus de celle qui est située sur la *pompe* **(fig. 26.1)**.

Cette soupape possède un tarage supérieur de 0,3 à 0,4 bar à celui de la soupape de la pompe et sert de « dégazage » supplémentaire (cas d'un filtre placé près du moteur ; d'où échauffement) ou de sécurité en cas de colmatage (cas d'utilisation d'une *pompe d'alimentation* à « double effet »). Un « orifice calibré » est également employé sur certains équipements (fuite permanente).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Utiliser un *manomètre* (– 1 bar, + 2,5 bar), pour contrôler ces circuits.
- Si un doute subsiste sur une éventuelle *prise d'air*, ne pas hésiter à mettre « en directe » la partie en aspiration avec un *réservoir* en charge, branché directement sur le raccord de la *pompe d'alimentation*.

Circuits d'alimentation utilisés avec les pompes « distributrices »

Toutes les *pompes d'injection* « distributrices » comprennent une *pompe d'alimentation incorporée* permettant l'aspiration directe du carburant dans le réservoir.

Malgré tout, dans certains montages, le constructeur ajoute une *pompe d'alimentation* « auxiliaire », soit à *membrane*, soit électrique, pour assurer une alimentation sans faille de la *pompe « distributrice »*.

– *Sans pompe auxiliaire* **(fig. 27.1)**
La totalité du circuit est alors en « aspiration » et le filtre à carburant doit assurer : la filtration du carburant et la séparation de l'eau, avec la possibilité de vidanger celle-ci sans désamorcer le circuit ; le dégazage, parfois le réchauffage **(fig. 21.2, fiche 21)** et l'amorçage.

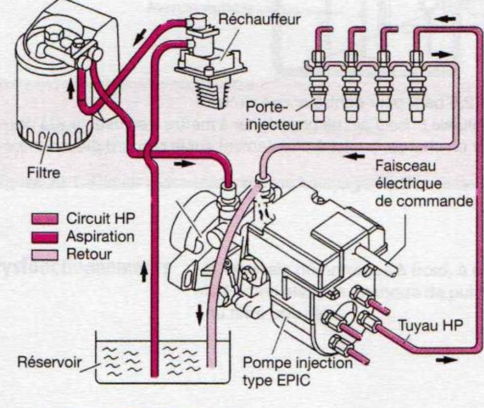
– *Avec pompe auxiliaire à membrane* **(fig. 27.1)**
Une *pompe d'alimentation à membrane*, commandée par l'*arbre à cames* du moteur, sert de relais entre le *réservoir* et la *pompe d'alimentation* principale incorporée dans la *pompe d'injection* distributrice. Un filtre simple à carburant peut être utilisé.

– *Avec pompe électrique dans le réservoir* **(fig. 28.1)**
Utilisé pour les *pompes distributrices* à régulation électronique.

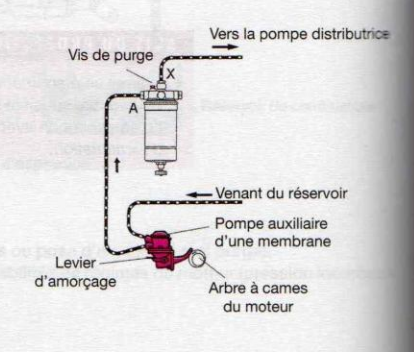
– *Circuit de retour* **(fig. 27.1 et 28.2)**
Dans ce type de pompe d'injection, le carburant servant aussi de lubrifiant (avec un débit de retour assez important) est dirigé, selon les montages, soit vers le réservoir (cas très fréquent) ; soit sur le côté « arrivée » ou sur le côté « sortie » du filtre principal.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les filtres avec pompe d'amorçage doivent toujours être fixés en position verticale, afin d'obtenir un fonctionnement correct.
- Lors de l'échange du filtre à carburant, si le circuit n'est pas équipé d'une pompe d'amorçage, il faut remplir le filtre de carburant propre avant la remise en place pour faciliter la purge du circuit.



a) Circuit avec pompe distributrice



b) Circuit avec pompe d'alimentation

Figure 27.1. Circuit d'alimentation avec pompe distributrice et avec pompe d'alimentation

(Circuits d'alimentation des nouvelles technologies (rail commun, injecteur-pompe)

1 Composition et description

Le circuit basse pression de la nouvelle technologie du système à « rail commun », appelé « common rail », est conçu de façon différente par rapport aux équipements classiques avec *pompe à injection*, avec des variantes selon l'équipementier fabricant ces systèmes.

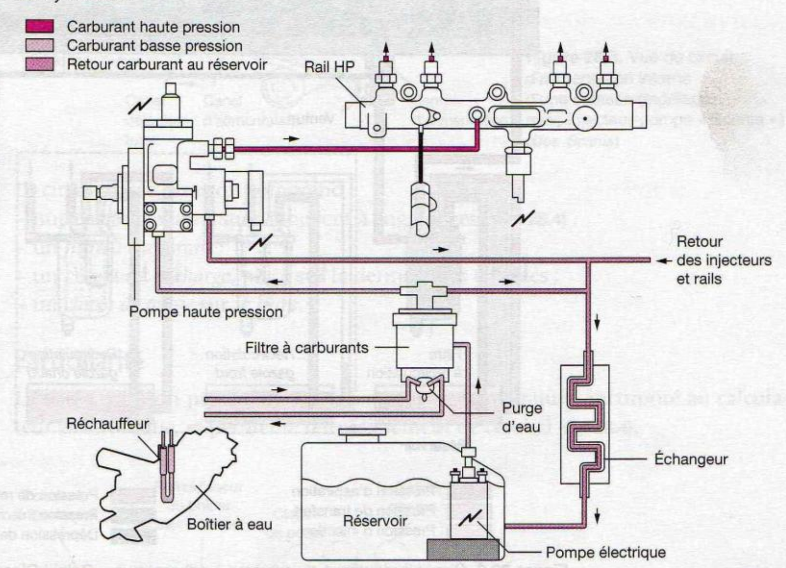


Figure 28.1. Circuit d'alimentation basse pression sur système « rail commun » (Doc. Bosch, ETAI)

1.1 Système Bosch

La basse pression (aux environs de 1,5 à 2,5 bar), est fournie soit par une pompe électrique noyée dans le réservoir, soit par une pompe hydraulique à pignons **(fig. 28.1 et 29.13)**.

La régulation de pression s'effectue soit par un clapet placé dans le circuit ou le filtre (cas avec pompe électrique), soit par un clapet de *décharge*, ou un orifice calibré placé sur la *pompe d'alimentation* à pignons.

1.2 Système Delphi-Diesel

La *pompe d'alimentation* basse pression (pompe à palettes, **fig. 28.2**) est incorporée dans la pompe haute pression.

La régulation de pression comporte un *clapet* taré (environ 6 bar), le surplus de carburant étant renvoyé à l'entrée de la pompe **(fig. 28.2)**.

Un actuateur basse pression est chargé de la régulation du débit envoyé dans la partie « pompe à haute pression ».

Le *filtre à carburant* est placé « en aspiration » et, dans certains équipements, est combiné avec la fonction de « réchauffeur » **(fig. 28.2)**.

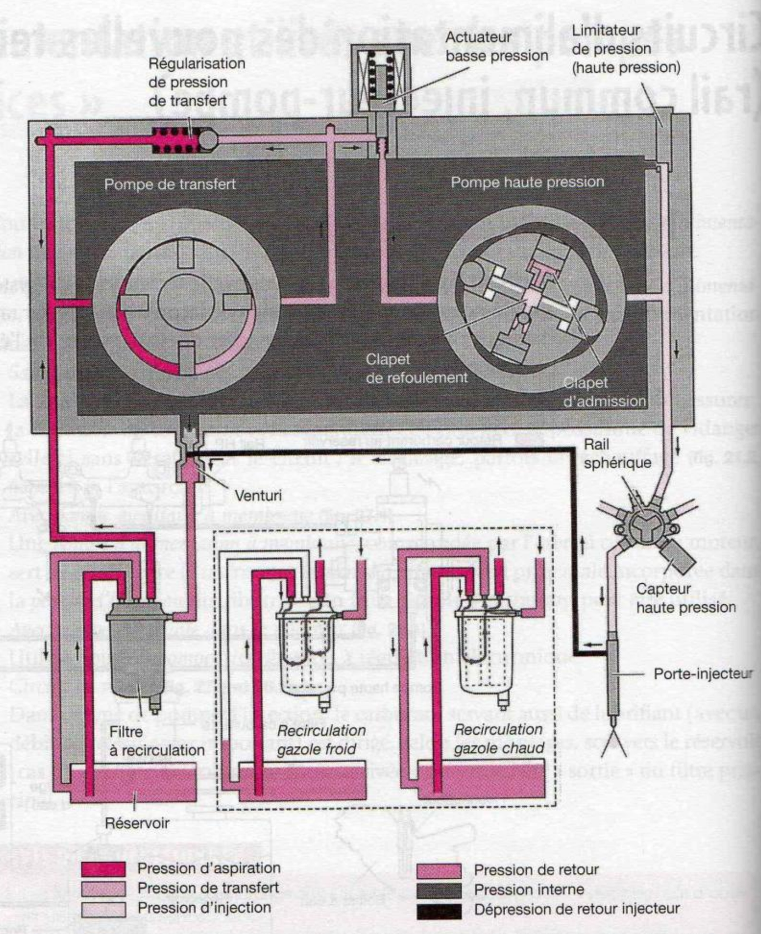


Figure 28.2. Circuit hydraulique du système à rail commun « Delphi-Diesel » *(Doc. Delphi-Diesel)*

Dysfonctionnements

- **Basse pression trop faible : panne totale.**
- **Impureté dans le circuit : grippage possible de la pompe, ou d'un injecteur.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Toute intervention sur ces circuits demande un environnement d'une grande propreté (local hors poussière et ventilé, tenue vestimentaire propre, outillages spécifiques, etc.) et uniquement des pièces d'origine.
- La purge du circuit s'effectue :
  - avec pompe électrique, il suffit de mettre le contact et couper 4 à 5 fois ;
  - avec pompe à engrenages, ou à palettes. En cas de problème, incorporer provisoirement sur le circuit une pompe d'amorçage à poire, le plus près possible de la pompe haute pression.
- La présence d'eau dans le carburant est à éviter sur ces systèmes (purger très souvent).

2 Circuit d'alimentation avec « injecteur-pompe »

2.1 Description

L'injecteur-pompe, implanté au centre de chaque cylindre, demande une architecture spécifique de la culasse, celle-ci étant chargée de la distribution de la basse pression vers les *injecteurs-pompes*.

Un canal est chargé de l'alimentation en carburant, tandis qu'un deuxième canal **(fig. 28.3)** permet une détection de fuite éventuelle d'un joint torique de l'extérieur (alerte avant passage de carburant dans l'huile moteur !).

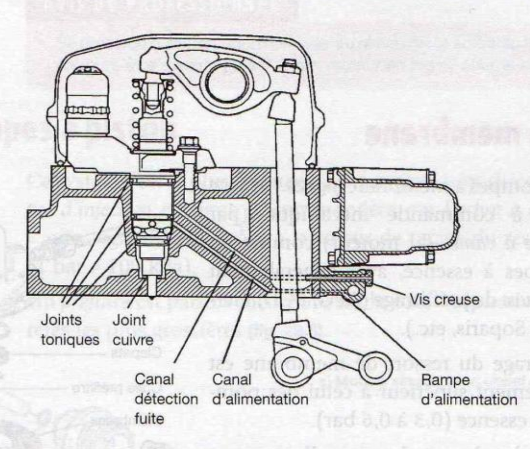


Figure 28.3. Vue du circuit d'alimentation interne d'une culasse (montage avec injecteur-pompe « Scania ») *(Doc. Scania)*

Le circuit basse pression comprend :
- une *pompe d'alimentation* (souvent à engrenages) **(fig. 28.4)** ;
- un *filtre à carburant* ;
- un clapet de *décharge*, placé sur la dernière des culasses ;
- un *clapet de purge* sur le *filtre*.

2.2 Particularité

La basse pression passe dans un échangeur de température, incorporé au calculateur électronique, et permet le refroidissement de celui-ci **(fig. 28.4)**.

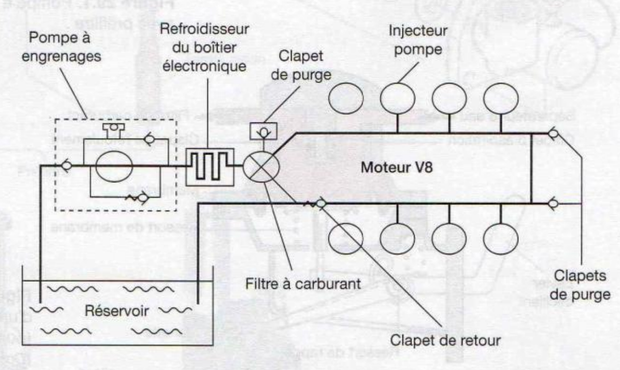


Figure 28.4. Schéma de principe de l'alimentation basse pression sur un moteur « V8 » avec « injecteur-pompe » *(Doc. Scania)*

Dysfonctionnement

- **Manque d'alimentation, *prise d'air*, provoquant des fumées blanches et manque de puissance.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Il est impératif de vidanger le circuit des culasses (*clapets de purge*), avant la dépose d'un « *injecteur-pompe* » (risque de remplissage du cylindre avec le carburant) **(fiche 78)**.
- Tout suintement par le canal de fuite doit faire l'objet d'une inspection des joints toriques des *injecteurs-pompes*.

Pompes d'alimentation

1 Pompes à membrane

Les pompes à membrane **(fig. 29.1 et 29.2)** sont à commande mécanique (par l'*arbre à cames* du moteur) comme les pompes à essence, avec généralement une *cuve* de préfiltrage (APG, BCD, Pierburg, Soparis, etc.).

Le tarage du ressort de membrane est légèrement supérieur à celui des pompes à essence (0,3 à 0,6 bar).

Dans la plupart des cas, elles servent à « assister » les *pompes d'alimentation* incorporées dans les *pompes distributrices* (Bosch « VE », Delphi « DPC », etc.).

Elles sont parfois utilisées et fixées sur certaines pompes en ligne (KHD, FORD, applications agricoles).

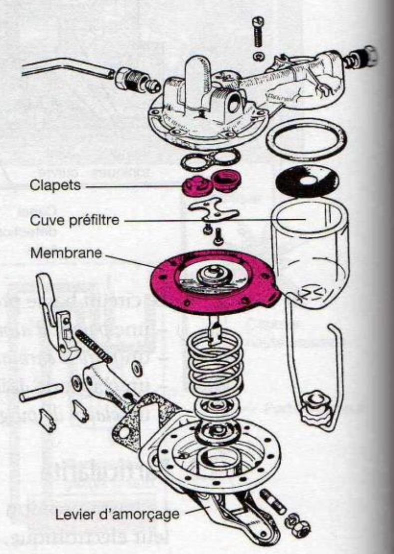


Figure 29.1. Pompe à membrane AC avec préfiltre

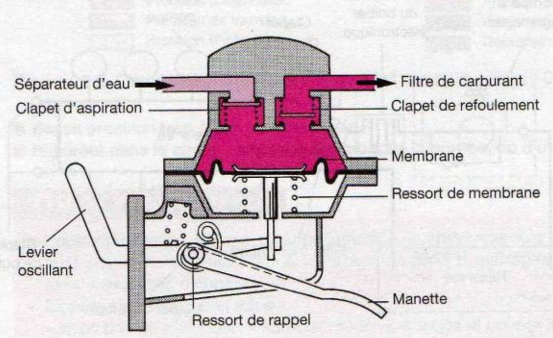


Figure 29.2. Fonctionnement d'une pompe à membrane (position refoulement) *(Doc. VAG)*

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Sur un moteur diesel, l'organe chargé de fournir la haute pression (*pompe d'injection* « distributrice, ou en ligne », pompe HP de rail commun, injecteur-pompe) a besoin d'une basse pression dès le démarrage, et d'un débit égal ou supérieur de 1,5 à 2 fois le débit de haute pression, au régime nominal de pleine charge, ceci après avoir aspiré le combustible dans le réservoir, en passant éventuellement par un *préfiltre*, et refoulé celui-ci à travers le (ou les) éléments filtrants. Cette fonction est assurée par la « *pompe d'alimentation* », dont le type de montage et la technologie sont adaptés aux systèmes haute pression employés par le constructeur.

Dysfonctionnement ■ *Membrane* percée, clapets non étanches, provoquant un désamorçage du circuit, ou un manque de pression (démarrage du moteur laborieux, fumée blanche et manque de puissance).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La pression d'alimentation mesurée au niveau de la sortie du *filtre* vers la *pompe d'injection* doit toujours être supérieure à 0,1 bar, moteur en pleine charge au régime nominal.

2 Pompes à piston

Ce système est le plus fréquent. Les pompes sont directement montées sur les *pompes d'injection* en ligne et commandées par *l'arbre à cames* de celles-ci. Elles sont « auto-régulatrices » grâce à la valeur de tarage du ressort de piston de 2,5 à 4 bar (1 bar = 100 kPa).

Un *préfiltre* est parfois incorporé sur le côté « aspiration », afin de retenir les impuretés les plus grossières **(fig. 29.3)**.

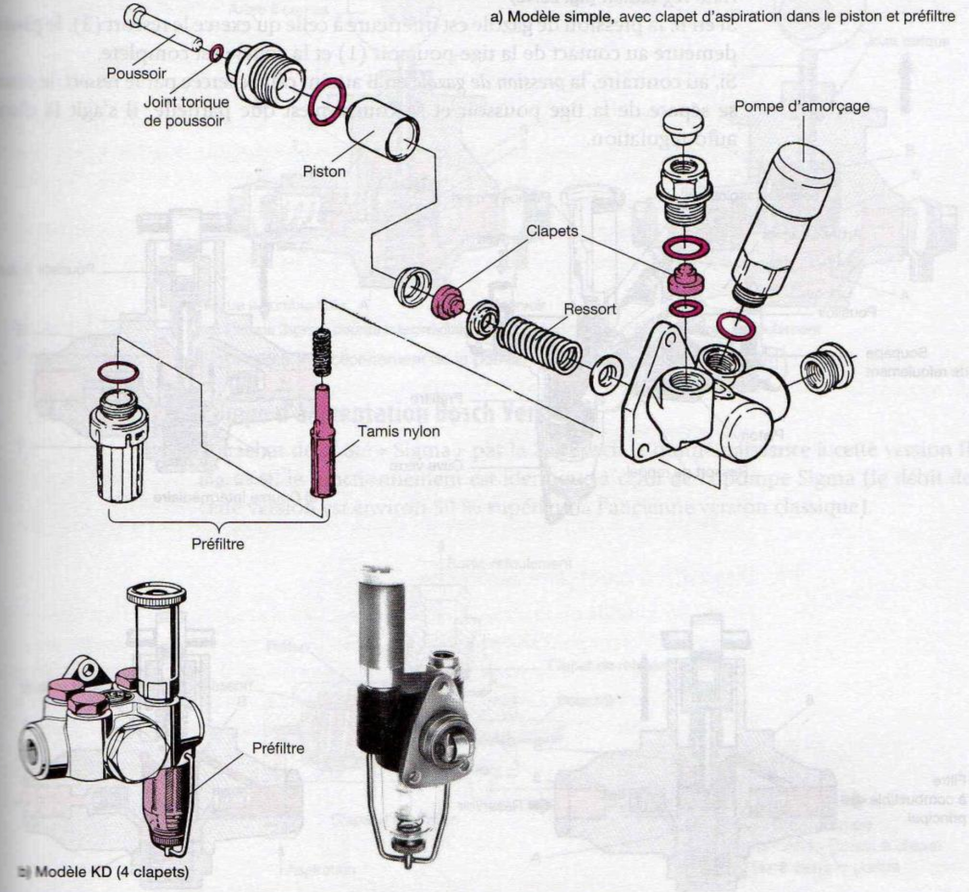


Figure 29.3. Pompes d'alimentation Bosch diverses simples et doubles *(Doc. Bosch)*

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La recherche de panne concernant une « dilution » (présence de carburant dans l'huile moteur), doit toujours commencer par la vérification de l'étanchéité du joint torique de poussoir.

3 Pompes d'alimentation à simple effet

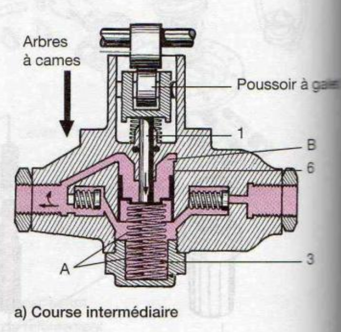
3.1 Pompes d'alimentation Bosch classique

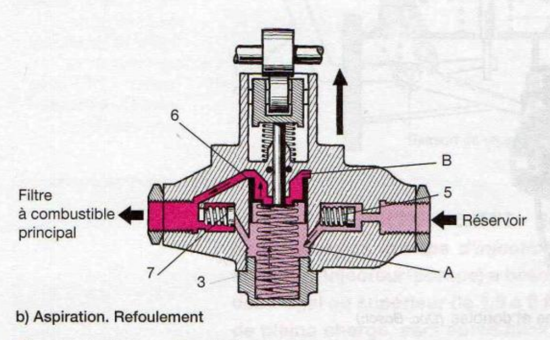
– *Course intermédiaire* **(fig. 29.4a)**
L'arbre à cames de la *pompe d'injection* commande le *poussoir à galet*. Le *piston* prin-cipal (6), sous la poussée de la tige de pression (1), envoie le liquide contenu dans la chambre A vers la chambre B, en ouvrant le *clapet* (7). Un volume corres-pondant à celui déplacé par la tige de pression (1) est envoyé vers le refoulement.

– *Course refoulement-aspiration* **(fig. 29.4b)**
Le sommet de la came étant dépassé, le *ressort* principal (3) repousse le *piston* (6) et la tige de pression (1) :
- le combustible de la chambre B est refoulé vers le *filtre* principal ;
- la dépression, créée dans la chambre A permet l'ouverture du *clapet* (5) et l'aspi-ration du combustible venant du *réservoir*.

– *Auto-régulation* **(fig. 29.4c)**
Si en B, la pression de gazole est inférieure à celle qu'exerce le ressort (3), le piston demeure au contact de la tige-poussoir (1) et la course est complète.
Si, au contraire, la *pression de gazole* en B atteint celle exercée par le *ressort*, le piston se sépare de la tige poussoir et sa course n'est que partielle. Il s'agit là d'une auto-régulation.

Soupape aspiration
Pompe à main
Arbre à cames
Arrivée
Sortie
Poussoir
Soupape de refoulement
Préfiltre
Piston
Ressort de rappel
Cuve verre





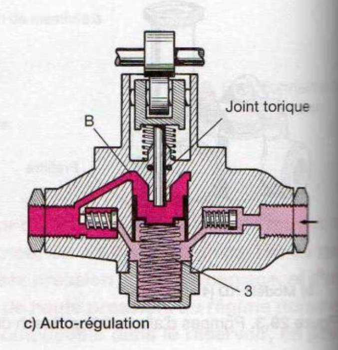


Figure 29.4. Pompe Bosch classique

Dysfonctionnements
- Désamorçage du circuit, manque de pression, fumée blanche, manque de puissance.
- Causes : *ressort de piston* cassé, clapets non étanches.

3.2 Pompe d'alimentation Sigma

– *Course intermédiaire* **(fig. 29.5a)**

L'arbre à cames de la *pompe d'injection* commande la tige de pression (1) qui agit sur le *piston* (6), créant ainsi une dépression (à condition que le clapet de refoulement (7) soit étanche) dans la chambre B. Le combustible se trouvant dans la chambre A est alors dirigé vers la chambre B, en passant par le clapet (5).

– *Course aspiration-refoulement* **(fig. 29.5b)**

Le *ressort* principal (3) repousse le piston (6) et la tige de pression (1) :

- le combustible se trouvant dans la chambre B est refoulé vers le *filtre principal* en passant par le clapet (7) ;
- le combustible est aspiré dans la chambre A.

– *Auto-régulation*

Elle est identique à celle de la pompe précédente.

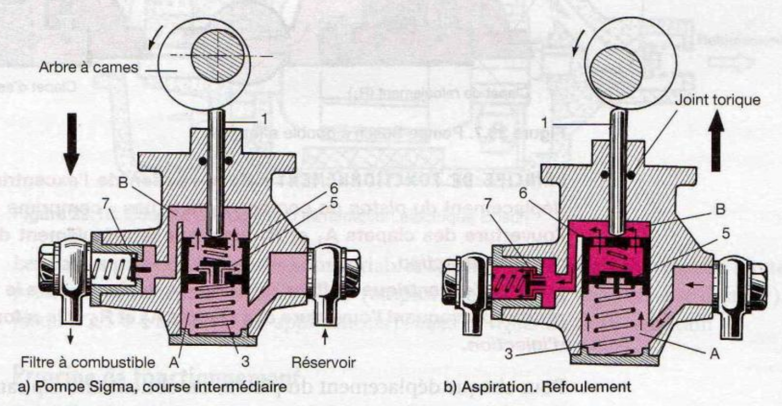


Figure 29.5. Fonctionnement de la pompe d'alimentation SIGMA

3.3 Pompe d'alimentation Bosch Version II

Le rachat de la Sté « Sigma » par la Sté Bosch, a donné naissance à cette version II **(fig. 29.6)**, le fonctionnement est identique à celui de la pompe Sigma (le débit de cette version est environ 50 % supérieur à l'ancienne version classique).

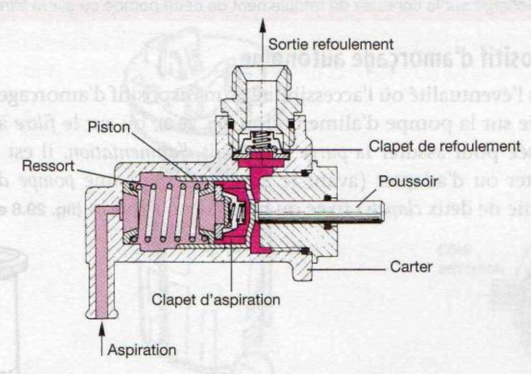


Figure 29.6. Pompe d'alimentation Bosch à clapet incorporé dans le piston

Dysfonctionnement

- Il est équivalent à celui de la pompe Bosch précédente.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Toujours faire un essai d'étanchéité entre le carter de *pompe d'alimentation* et l'ensemble poussoir.

3.4 Pompe d'alimentation Bosch à double effet

Applications de la pompe d'alimentation Bosch à double effet **(fig. 29.7)** : moteu
de forte puissance équipés d'une *pompe en ligne* à débit important.

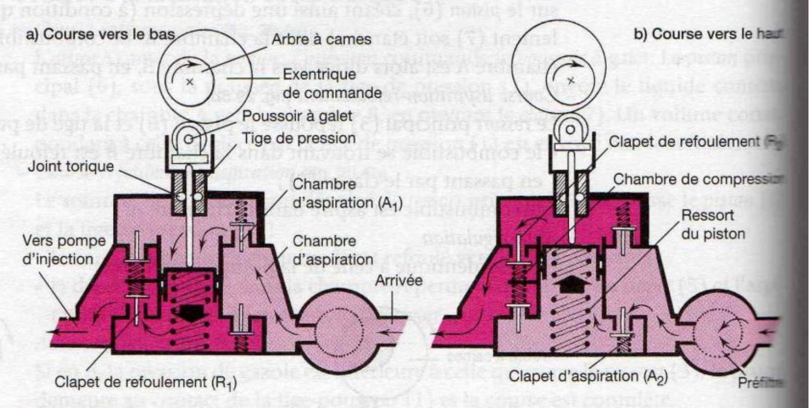


Figure 29.7. Pompe Bosch à double effet

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Sous l'action de l'excentrique de commande, le déplacement du *piston de pompe* « vers le bas » comprime le *ressort*, provoqua l'ouverture des clapets A_1 et R_1 ainsi que le refoulement du combustible vers la *pompe d'injection*.
Lorsque l'excentrique s'efface, le *piston* se déplace « vers le haut » sous l'action du ressort provoquant l'ouverture des clapets A_2 et R_2 et le refoulement vers la *pomp d'injection*.

Pour chaque déplacement du piston, on obtient une aspiration et un refouleme du carburant ; la *pompe d'alimentation* est à double effet (la pompe débite deux fo par tour d'arbre à cames).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Dans ce principe, à l'encontre de la pompe à simple effet, le débit ne peut devenir presque nul au moment de l'auto-régulation ; aussi doit-on obligatoirement monter une *soupape de décharge* sur la conduite de refoulement de cette pompe ou sur le *filtre* à carburant.

3.5 Dispositif d'amorçage autonome

Dans l'éventualité où l'accessibilité d'un dispositif d'amorçage classique (pompe placée sur la pompe d'alimentation **(fig. 29.3)**, ou sur le *filtre* à carburant) n'est pa réalisée pour assurer la *purge* du *circuit d'alimentation*, il est toujours possible de monter ou d'adapter (avant le *filtre* principal) une *pompe d'amorçage* autonome (munie de deux *clapets*) fixée ou non sur un support **(fig. 29.8 et 29.9)**.

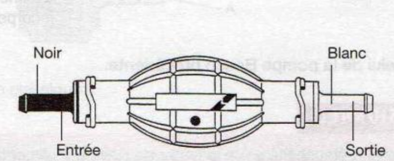


Figure 29.8. Pompe à poire Delphi-Diesel

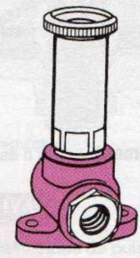


Figure 29.9. Pompe d'amorçage *(Doc. Bosch)*

4 Pompes électriques

4.1 Utilisation

Les équipements VL actuels utilisent de plus en plus les pompes électriques **(fig. 29.10)**, placées « en ligne », ou souvent « intégrées » dans le *réservoir* **(fig. 29.11)**, permettant la mise en pression du circuit basse pression dès la mise sous contact du véhicule.

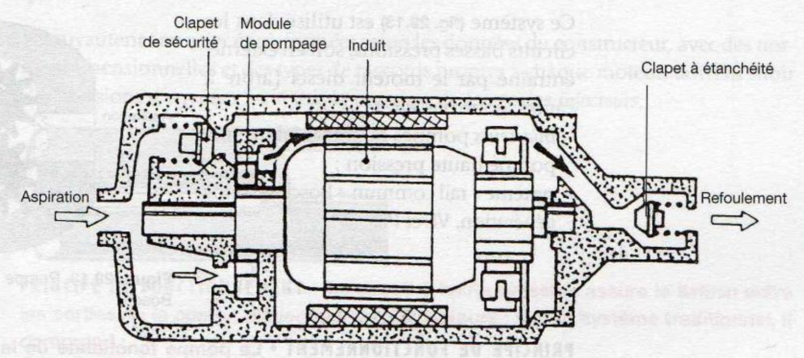


Figure 29.10. Coupe d'une pompe d'alimentation électrique Bosch

Les basses pressions générées sont variables selon la technologie du système haute pression, et varient de 0,2 à 0,5 bar (emploi avec *pompe à injection* distributrice), jusqu'à 2,5 à 4 bar pour les applications *pompes en lignes* ou « rail commun ».

4.2 Principe de fonctionnement

La partie moteur électrique à aimants permanents, est traversé et refroidi par le flux de carburant sous pression, et fonctionne en permanence pendant la marche du moteur.

La partie pompage est du type « volumétrique » multicellulaire à rouleaux **(fig. 29.12)**, constitué d'un rotor à encoches, et de rouleaux qui sont plaqués sur le stator par la pression de carburant.



Figure 29.11. Pompe d'alimentation intégrée dans le réservoir

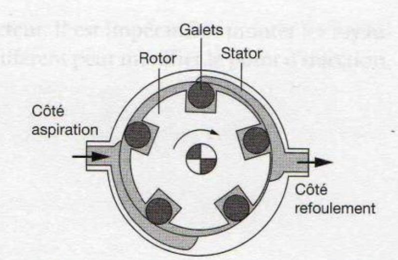


Figure 29.12. Module de pompage électrique Bosch

4.3 Sécurité

Le circuit de commande de la pompe électrique est piloté par le calculateur d'injection, qui peut ainsi opérer un arrêt d'urgence sur demande.

5 Pompes à engrenages

5.1 Utilisation

Ce système (**fig. 29.13**) est utilisé dans les circuits basses pressions, soit en externe, entraîné par le moteur diesel (arbre à cames, courroie, etc.) :

– *injecteurs* pompes ou intégré dans une pompe haute pression ;
– système « rail commun » Bosch seconde génération, VL et PL.

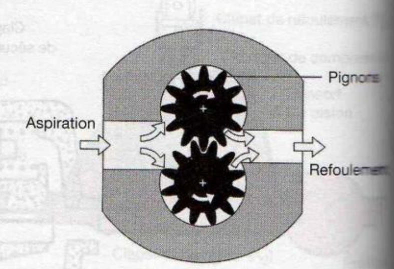


Figure 29.13. Pompe d'alimentation à pignons Bosch

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • La pompe fonctionne de la même façon qu'une *pompe hydraulique* classique, mais demande un clapet de sécurité monté soit sur le *filtre*, soit sur la canalisation.

5.2 Sécurité

Le calculateur doit avoir une stratégie différente pour obtenir une interruption du circuit basse pression en cas de besoin.

Dysfonctionnement

- Sur une pompe électrique : pression trop basse (pompe usée, ou tension électrique faible), ou trop haute (filtre obturé), provoquant soit un arrêt moteur, ou une mise en sécurité.

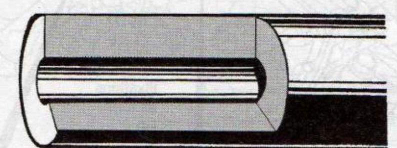
AVIS DU PROFESSIONNEL

- Toute intervention sur les *circuits basse pression* d'un rail commun, ou *injecteur* pompe doit être accompagnée de précautions (local sans poussières, tenue vestimentaire ou outillage propre).

Circuits à haute pression

1 Description

Les tuyauteries en acier étiré, formées selon les données du constructeur, avec des normes dimensionnelles et des types de raccords propres à chaque moteur, doivent subir des pressions d'environ 5 à 6 fois la pression de *tarage* des *injecteurs*.



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • **Le circuit à haute pression assure la liaison entre les sorties de la *pompe d'injection* et les *injecteurs* ; sur un système traditionnel, il comprend :**
- **les tuyauteries HP et leurs raccords ;**
- **les *porte-injecteurs* ;**
- **les *injecteurs*.**

2 Influence des tuyauteries HP sur le débit et le délai d'injection

2.1 Qualité de l'acier

Suivant le *tarage* de l'*injecteur*, la canalisation se « gonfle » au moment de l'injection (en fonction de l'épaisseur de la « paroi » et de l'acier employé). Cette « élasticité » peut faire varier le *débit* et la durée de l'injection.

2.2 Longueur

Il est recommandé d'avoir une même longueur de tuyauterie pour tous les cylindres. On évite ainsi un déséquilibre des débits et un décalage angulaire du début d'injection (délai d'injection). Le rayon de courbure ne doit jamais être inférieur à 50 mm.

2.3 Diamètre

Le diamètre est déterminé par le constructeur. Il est impératif de monter les tuyauteries préconisées (un *diamètre intérieur* différent peut modifier le point d'injection, la durée et le *débit*).

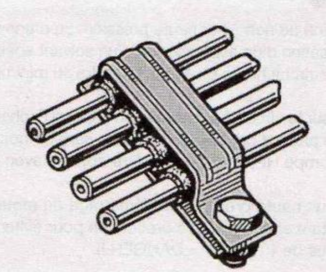


Figure 30.1. Exemple de fixations des canalisations HP diesels

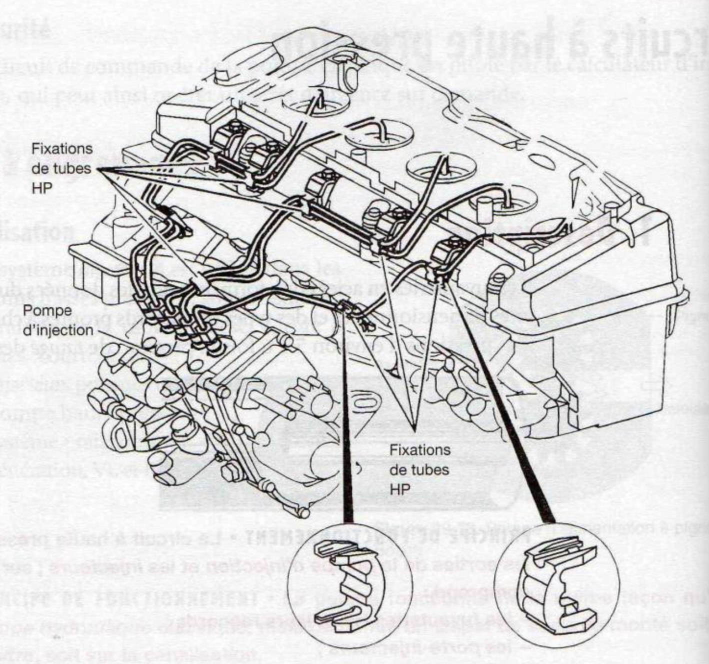


Figure 30.2. Exemple de fixations des canalisations HP sur un moteur Mercédès

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les tuyauteries utilisées doivent correspondre aux préconisations du constructeur.
- Les fixations « anti-vibrations » doivent être placées selon les plans du constructeur, afin d'éviter les phénomènes de ruptures de la propagation des bruits dus aux ondes de pressions **(fig. 30.1 et 30.2)**.

3 Système d'injection à « rail commun » (« common rail »)

Ce nouveau concept ne comporte plus de *pompe à injection* traditionnelle **(fiche 82)** mais les canalisations haute pression subissent des pressions qui vont atteindre plus de 2 000 bar dans les années à venir **(fig. 30.3)**.

Cette technologie nécessite des précautions au niveau propreté et maintenance.

Dysfonctionnement

- **Fuites ou suintement en pleine charge, quelquefois difficile à visualiser.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Nettoyage préalable : l'utilisation du nettoyeur haute pression, ou d'une soufflette à air est interdite ; seule est autorisée l'utilisation d'un aspirateur, et d'un solvant spécial passé au pinceau.
- Avant toute intervention sur le circuit haute pression, attendre au minimum 1 à 2 minutes après l'arrêt du moteur.
- Tout desserrage de raccord sur le circuit haute pression impose l'échange systématique de la tuyauterie concernée par une pièce d'origine, le *couple de serrage* doit être respecté.
- Les raccords restants (rail, pompe HP, etc.) doivent être obturés avec des bouchons en plastique pendant l'intervention.
- Après intervention sur le circuit haute pression, le démarrage du moteur doit se faire « capot moteur fermé », l'ouverture étant effectuée avec précaution pour éviter les accidents (fuite sur un circuit haute pression à plus de 1 300 bar = DANGER !).

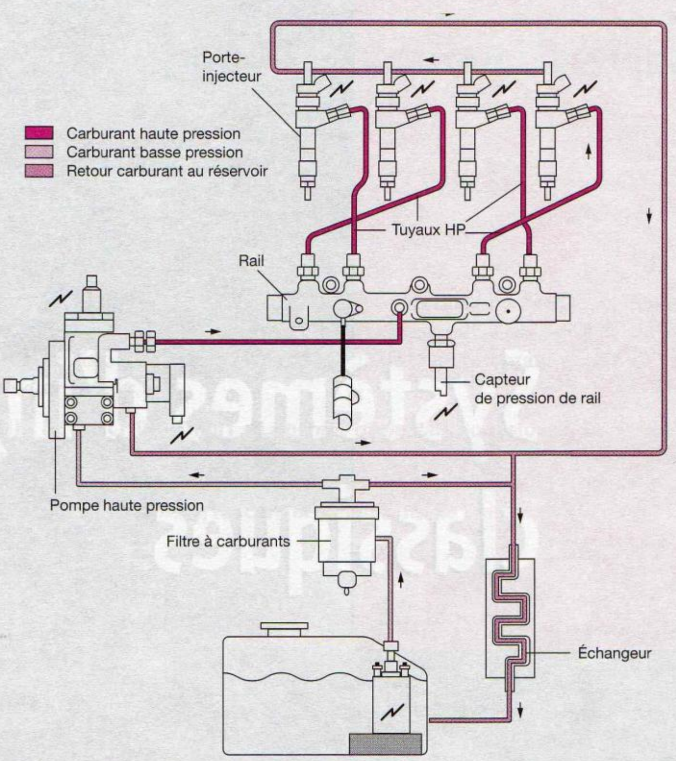


Figure 30.3. Circuit de carburant (common rail Bosch)

4 Système d'injection avec injecteur-pompe

Ce nouveau concept, comme le système « common rail », ne comporte plus de *pompe à injection* traditionnelle **(fiche 82)**.

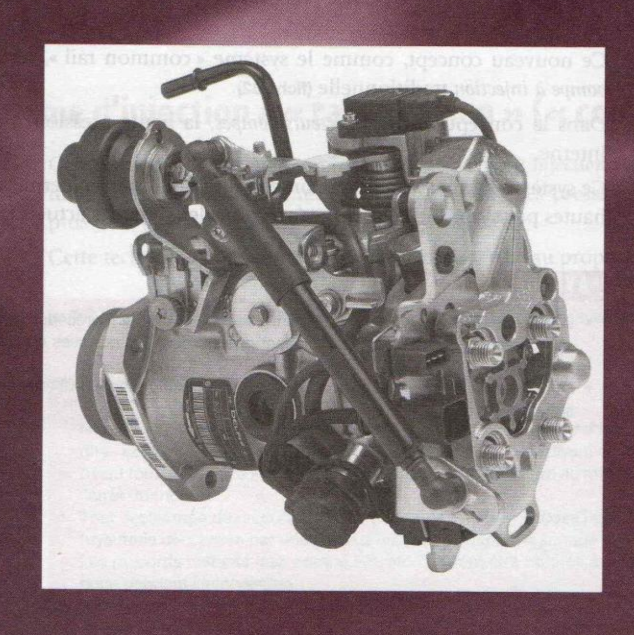
Dans la conception des *injecteurs-pompes*, la haute pression n'est présente qu'en interne.

Ce système permet la suppression de toute canalisation, permettant l'obtention de hautes pressions plus élevées qu'avec tous les systèmes actuels (> de 2 500 bar).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La dépose du *porte-injecteur* sur la culasse moteur doit être précédée de la vidange du *circuit d'alimentation*, afin d'éviter au carburant présent dans les culasses de remplir le *cylindre* concerné **(fiche 78)**.
- La réparation des *injecteurs-pompes* n'est pas recommandée par les constructeurs (échange standard).

Systèmes d'injection classiques



Généralités sur les systèmes d'injection classiques

1 Différents types de pompes

Nous traiterons, dans cette partie, des *pompes d'injection* mécanique ou à assistance électronique, « en ligne » à course de piston constante (c'est-à-dire de celles dont chaque impulsion injecte dans le *cylindre* la dose de carburant nécessaire), et des *pompes distributrices*.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • La *pompe d'injection* doit refouler sous haute pression vers chaque *injecteur* un volume précis de carburant, à l'instant prévu, et pendant une durée déterminée, à travers un circuit hydraulique comprenant soupape (ou *clapet*) *de refoulement*, raccord et conduite haute pression.

2 Conditions à remplir

- Le dosage doit correspondre très exactement aux besoins du moteur (suivant la charge et le régime de rotation).
- Il doit être rigoureusement égal pour chaque *cylindre* du moteur (la valeur du *débit* est déterminée avec précision par le constructeur, et est réglée sur un « banc d'essai d'injection »).
- L'injection doit s'effectuer à un instant très précis, et est maintenant souvent gérée par l'électronique.
- L'injection doit se produire pendant un laps de temps très court et sans égouttement ultérieur.
- La précision dans l'usinage de la pompe, notamment des *pistons* et des *cylindres*, doit être très poussée :
  - la pression instantanée atteint une valeur très élevée : 1 000 bar et davantage (1 bar = 100 kPa) ;
  - la quantité de combustible à refouler par coup de piston est très variable suivant les types de moteurs.
- Le *régulateur de vitesse* fait généralement corps avec la *pompe d'injection*. Il évite l'emballement du moteur à partir d'un certain régime, en neutralisant l'action du conducteur sur l'accélérateur. Il assure également le maintien d'un ralenti stable ou un régime régulier sur toutes les gammes de vitesse, suivant la version utilisée. L'utilisation de la *régulation électronique* est maintenant courante et permet de nombreuses améliorations au niveau des émissions de polluants ou de l'agrément de conduite.

32

Pompes d'injection « en ligne »

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • **Les éléments de pompage sont chargés de générer la haute pression d'injection, le dosage (du stop au débit maximal), la durée d'injection, à un moment choisi.**

Commandés par l'*arbre à cames* et par l'intermédiaire des *poussoirs à galets*, les *pistons* ou « éléments de pompage » possèdent une course de levée constante.

Cette course est fonction de la taille de la pompe.

Exemple

Taille « A » → 7 mm
Taille « MW » → 10 mm
Taille « P » → de 10 à 12 mm suivant le type
Taille « R, H » → de 12 à 18 mm

Les *pistons* sont ramenés vers le PMB par des *ressorts* dont le tarage est fonction de la vitesse maximale de la pompe, qui tourne à la demi-vitesse du moteur.

Le dosage du carburant est assuré par le déplacement en « rotation » des pistons, à l'aide de *douilles réglables*, reliées à des secteurs dentés en liaison avec la *tige de réglage*, appelée aussi « crémaillère » **(fig. 32.5 à 32.7)**.

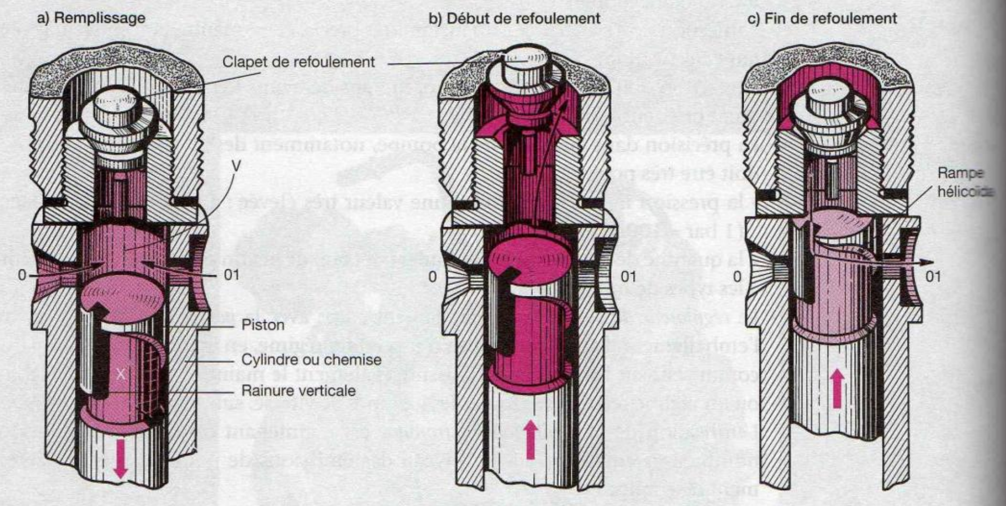


Figure 32.1. Alimentation et refoulement d'un élément de pompe en ligne Bosch

Dysfonctionnement

- **Usure, grippage, gommage des éléments de pompe engendrant : mauvais démarrages, instabilités de régime, fumées importantes, manque de puissance du moteur.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Chaque ensemble *piston*/chemise est ajusté et appairé avec un jeu de 2 à 4 μ (microns), et la moindre impureté ou pollution du carburant provoque une usure prématurée.
- La filtration correcte est le gage de longévité de ces pièces.

1 Fonctionnement

– **Admission du carburant** (remplissage) **(fig. 32.1a)**

Au PMB, le piston découvre les orifices 0 et 01 d'arrivée du combustible. Celui-ci pénètre dans la chambre V et par la rainure verticale, dans la chambre X, poussé par la pression d'alimentation (fournie par la *pompe d'alimentation*), maintenue constante par la *soupape* de décharge entre 0,8 et 3 bar (1 bar = 100 kPa) selon le circuit.

– **Pré-course (fig. 32.1b et 32.2)**

C'est la course parcourue par le piston entre le PMB et le début de refoulement (valeur indiquée sur la fiche d'essais au banc de la *pompe d'injection*).

L'injection devant s'effectuer à vitesse constante, la course utile (entre le début de refoulement et la fin de refoulement) doit être positionnée sur la partie « rapide » de la *came*. Un réglage est prévu, selon le modèle de la *pompe d'injection*, permettant également le réglage du « phasage » des *cylindres* entre eux (60° pour 6 cylindres, 90° pour 4 cylindres, etc. avec une tolérance de ± 0,5°) :

- taille « A » : à l'aide d'une vis et d'un contre écrou ou d'une pastille interchangeable, sur le poussoir **(fig. 32.13)** ;
- taille « M » : par modification du diamètre des galets de *poussoirs* **(fig. 34.2)** ;
- taille « MW », « P », « R » et « H » : en modifiant la hauteur de la *chemise*, par des cales d'épaisseurs **(fig. 34.4 et 34.6)**.

– **Début de refoulement (fig. 32.1b)**

Le piston ayant effectué la précourse, obture les orifices d'arrivée 0 et 01. C'est le « début de refoulement » et le combustible comprimé soulève le *clapet de refoulement*, parcourant ainsi la « course de détente ».

– **Course utile**

C'est la course comprise entre l'ouverture de la soupape de refoulement et la fin de refoulement (libération de l'orifice de *décharge* par la partie inférieure de la rampe du *piston*) **(fig. 32.3)**.

– **Fin de refoulement *(décharge)* (fig. 32.1c)**

Dès que l'arête inférieure de la rampe hélicoïdale découvre l'orifice 01, la pression chute brusquement et le *clapet de refoulement* retombe sur son siège. Le combustible dans les chambres V et X est remis à la *pression d'alimentation*.

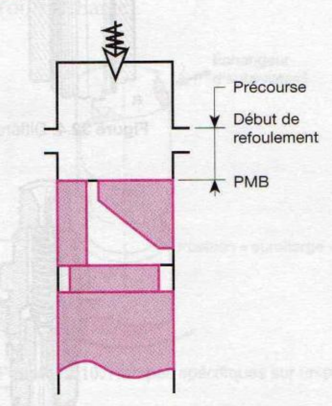
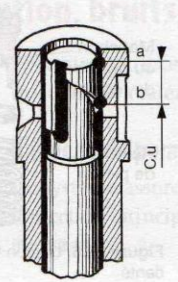
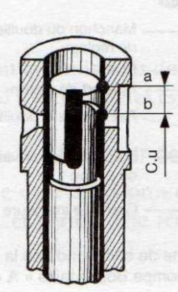


Figure 32.2. Détermination de la précourse

Le piston continue ensuite sa course jusqu'au PMH (course de la came).





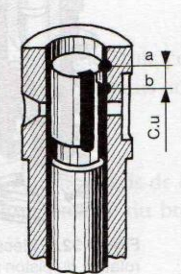


Figure 32.3. Course utile, selon orientation du piston

Dysfonctionnements

- **Bougies de préchauffage fondues :** ***calage de pompe*** **fait en début d'injection au lieu de début de refoulement !**
- **Fumées blanches, moteur instable : phasage entre cylindres incorrect.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le « début de refoulement » © est le point de référence servant au calage de la pompe à injection sur le moteur, il ne faut pas le confondre avec le « début d'injection » (ouverture de l'injecteur).
- La quantité de carburant refoulée dépend du temps pendant lequel le piston couvre l'orifice de *décharge* 01 ; c'est la « course utile » **(fig. 32.3)**.
  Ce temps est modifié par la rotation du piston. Elle fait varier l'instant de la fin du refoulement déterminé par la rampe hélicoïdale.
  Les **figures 32.4a, b, et c** montrent les positions de plein débit, de débit moyen et de ralenti.
  Dans la **figure 32.4d**, la rainure verticale est en ligne avec l'orifice 01, aucun refoulement n'est possible, c'est la position d'arrêt ou « stop ».
  Pour obtenir la position désirée de la rampe hélicoïdale, on fait tourner le *piston* au moyen d'un mécanisme de commande **(fig. 32.5 à 32.7)**.
- Suivant le sens de rotation qu'il faut donner au piston pour obtenir une augmentation de la « course utile » (débit), on dit qu'il est à « rampe à gauche » ou à « rampe à droite » **(fig. 32.1 à 32.5)** (piston rampe à gauche).
- Lorsque la lubrification de la pompe s'effectue à partir du circuit de graissage sous pression du moteur, un dispositif de « récupération des fuites » est prévu sur chacun des éléments de pompage **(fig. 32.8)** afin d'éviter la dilution de l'huile du moteur par le carburant.

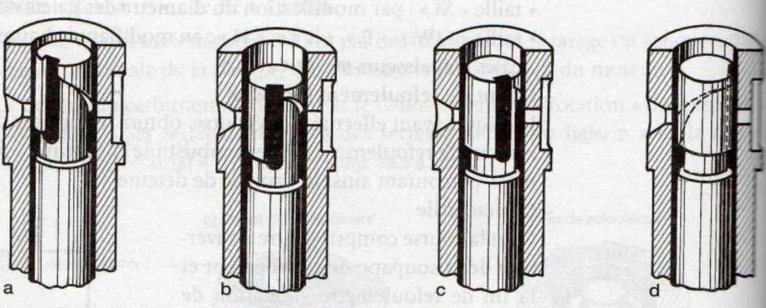


Figure 32.4. Différentes positions du piston dans le cylindre

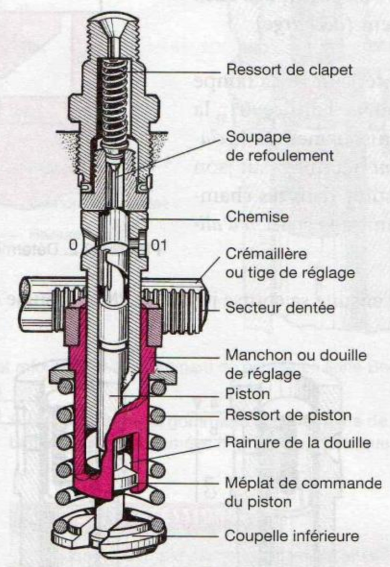


Figure 32.5. Mécanisme de commande de la rotation du piston sur pompe Bosch taille « A »

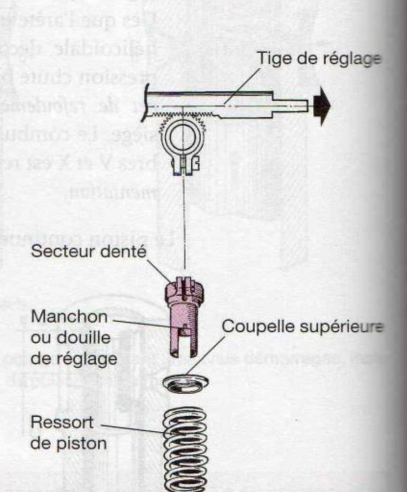
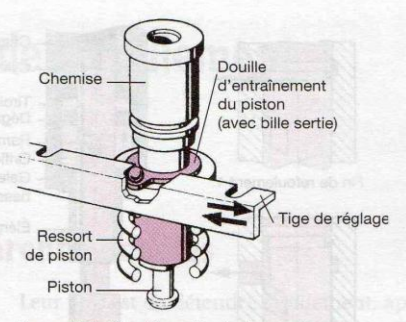


Figure 32.6. Liaison tige de réglage et secteur denté



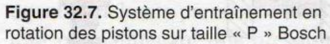


Figure 32.7. Système d'entraînement en rotation des pistons sur taille « P » Bosch

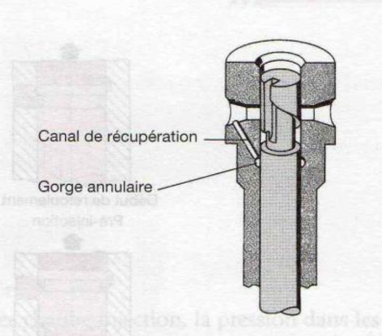


Figure 32.8. Élément de pompage avec récupération des fuites

2 Différents modèles d'éléments de pompage

Selon la position et les caractéristiques de la rampe, les éléments de pompes ont des appellations différentes :

- début d'injection « fixe » et fin d'injection « variable » (fig. 32.1 à 32.5) ;
- début d'injection « variable » et fin d'injection « fixe » (piston auto-avance), permettant la *variation de l'avance* à l'injection en fonction de la charge du moteur (fig. 32.9) ;
- début et fin d'injection « variables » (fig. 32.10) pour applications spécifiques ;
- échancrure d'auto-retard (fig. 32.10) permettant sur certains moteurs un meilleur démarrage ou une protection du *démarreur*. Cette échancrure est utilisée uniquement en position « débit de démarrage » (ou surcharge).

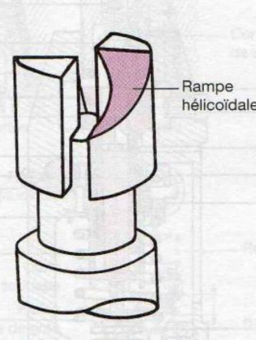


Figure 32.9. Piston « auto-avance »

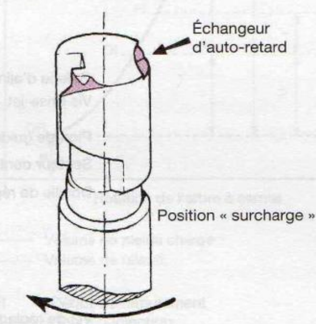


Figure 32.10. Rampes spécifiques sur un piston

3 Évolutions en rapport avec la normalisation (pollution, bruits)

Les normes concernant les émissions de polluants et le bruit, conduisent les constructeurs de matériel d'injection à des évolutions sur certains points importants.

3.1 Élément de pompe « fractionneur de débit »

Ce système assure une « pré-injection » d'un volume précis de combustible, avant l'injection principale, et permet une réduction sensible du bruit de combustion (fig. 32.11).

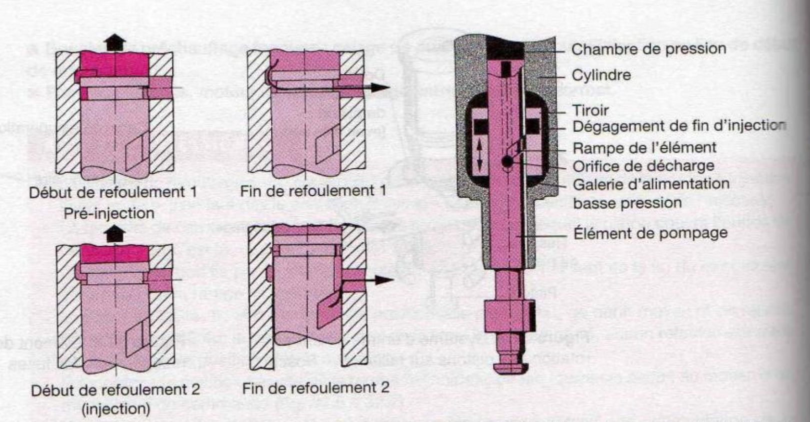


Figure 32.11. Élément fractionneur de débit Bosch

Figure 32.12. Élément de pompe à tiroir Bosch

3.2 Élément de pompe « à tiroir »

Cet ensemble, monté sur la *pompe à injection* Bosch « taille H » permet la variation du point d'injection par déplacement du « tiroir » à l'aide d'une deuxième tige de réglage, l'ensemble étant bien entendu piloté par l'électronique **(fig. 32.12)**.

Ce système adapte exactement le point d'injection et le débit injecté au besoin instantané du moteur avec une diminution notable de la pollution et du bruit.

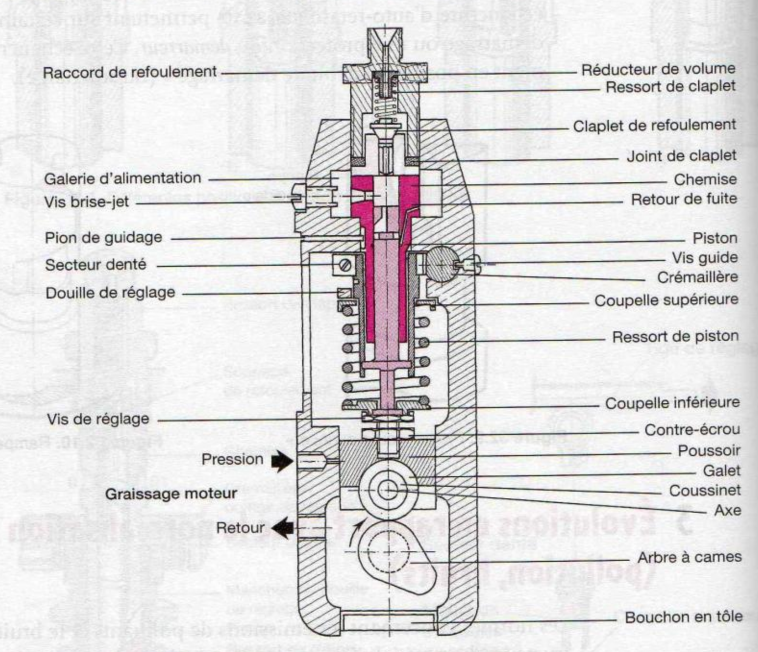


Figure 32.13. Pompe Bosch, taille « A » avec graissage moteur

AVIS DU PROFESSIONNEL

- C'est le début de refoulement 2 **(fig. 32.11)** qui correspond au repère de calage et à la pré-course indiquée sur la fiche constructeur, sur un élément frationneur de débit.

Soupapes de refoulement

1 Différents modèles

Leur rôle est de détendre rapidement, après chaque injection, la pression dans les tuyauteries haute pression, afin d'obtenir une fermeture « franche » de l'injecteur, tout en maintenant une pression résiduelle déterminée. On distingue différents types de soupapes.

La pression résiduelle est déterminée par le constructeur, afin de réduire le « délai » d'injection, sans entraîner le « bavage » de l'injecteur.

2 Soupapes à réaspiration

La description d'une soupape à réaspiration et sa courbe fonctionnelle est présentée aux **figures 33.1 et 33.2**.

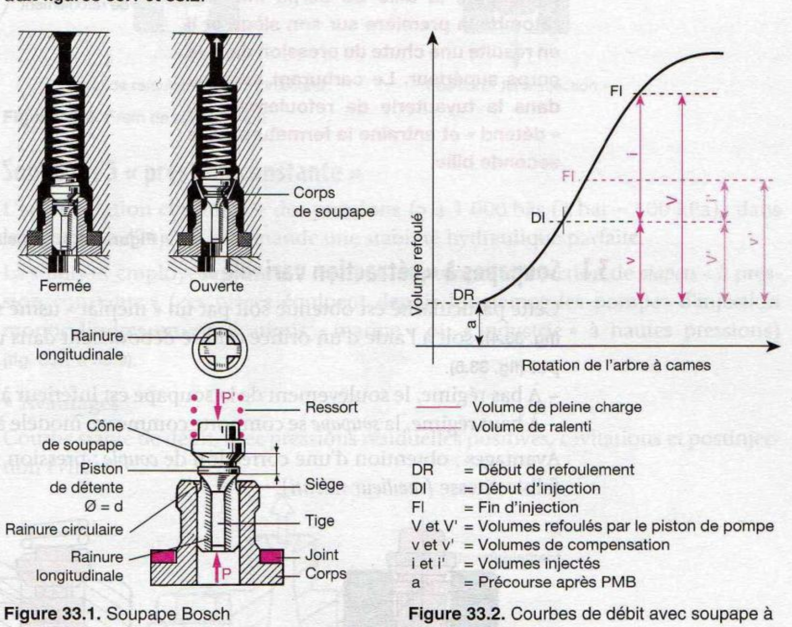


Figure 33.1. Soupape Bosch

Figure 33.2. Courbes de débit avec soupape à réaspiration

- Début de refoulement : le *piston* de pompe comprime le carburant, la pression d'injection P devient supérieure à la pression P' (charge du ressort + pression résiduelle) et soulève la *soupape*. Le carburant s'écoule au moment où le piston de détente (ou collerette) dégage l'orifice.
- Fin de refoulement : le refoulement du carburant cesse lorsque la pression P devient inférieure à la pression P'. La fermeture de la soupape s'effectue alors en deux phases :

• l'arête inférieure du piston de détente vient en contact avec la partie rectifiée du siège et la communication est interrompue ;
• la *soupape* continue sa retombée jusqu'à la fermeture complète en « réaspirant » dans la tuyauterie un volume : $V = S \times h = \frac{\pi d^2}{4} \times h$:

V = volume de réaspiration ;
S = surface du piston de détente ;
h = hauteur de retombée.

En position « débit de ralenti », les volumes de compensation restent identiques mais les volumes injectés sont différents **(fig. 33.2)**.

Dysfonctionnement ■ Comme les éléments de pompe, la qualité du carburant et de la filtration est un gage de longévité, une usure provoque des irrégularités de régime, et des fumées.

3 Clapets à billes

Les clapets à billes sont constitués de deux corps superposés comportant chacun une bille **(fig. 33.3)**.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • En fin d'injection, la bille du corps inférieur retombe la première sur son siège et il en résulte une chute de pression dans le corps supérieur. Le carburant contenu dans la tuyauterie de refoulement se « détend » et entraîne la fermeture de la seconde bille.

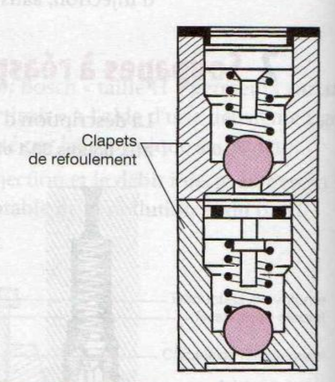


Figure 33.3. Clapets à billes

3.1 Soupapes à « rétraction variable »

Cette particularité est obtenue soit par un « méplat » usiné sur le piston de détente **(fig. 33.4)**, soit à l'aide d'un orifice calibré débouchant dans un perçage axial du clapet **(fig. 33.5)**.

– À bas régime, le soulèvement de la soupape est inférieur à une soupape standard.
– À haut régime, la *soupape* se comporte comme un modèle à réaspiration classique.

Avantages : obtention d'une correction de *couple* ; pression résiduelle plus élevée à faible vitesse *(meilleur ralenti)*.

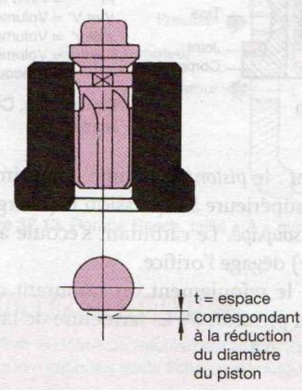


Figure 33.4. Soupape avec « méplat »

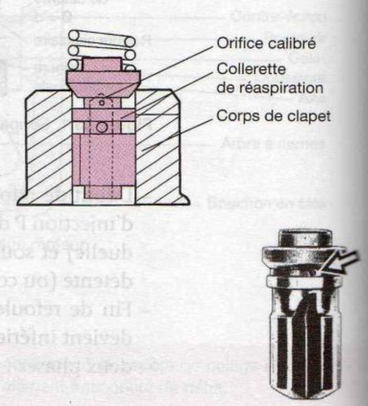


Figure 33.5. Soupape avec orifice calibré

3.2 Raccord de refoulement avec frein de réaspiration

L'onde de pression est amortie par la section d'étranglement (orifice X, **fig. 33.6**) lors de la fin d'injection, ce qui évite la cavitation et une postinjection éventuelle.

En phase d'injection, la soupape D **(fig. 33.6)** se soulève et le combustible se dirige librement vers l'*injecteur*.

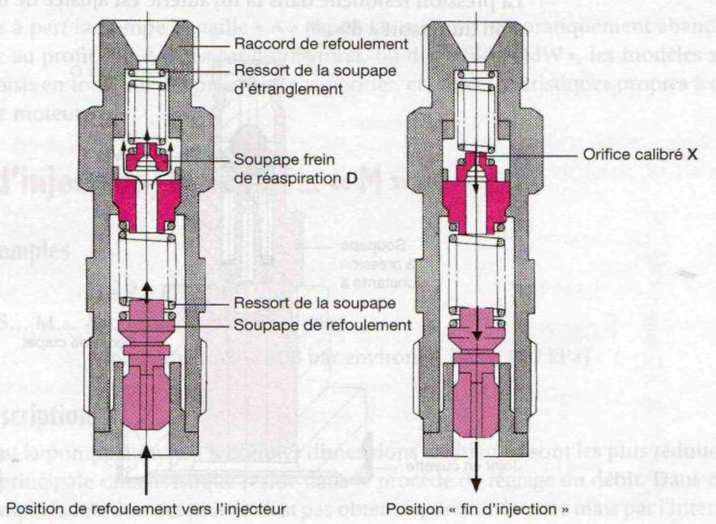


Figure 33.6. Frein de réaspiration

3.3 Soupapes à « pression constante »

L'augmentation continuelle des pressions (> à 1 000 bar (1 bar = 100 kPa)) dans les systèmes d'injection demande une stabilité hydraulique parfaite.

La solution employée consiste à équiper les pompes d'injection de *clapets* « à pression constante » (ces pièces équipent depuis longtemps les pompes d'injection monocylindres en applications « marine » ou « industrie » à hautes pressions) **(fig. 33.7 à 33.9)**.

- **Avantages**

Courbe stable de débit, avec pressions résiduelles positives, cavitations et postinjection évitées.

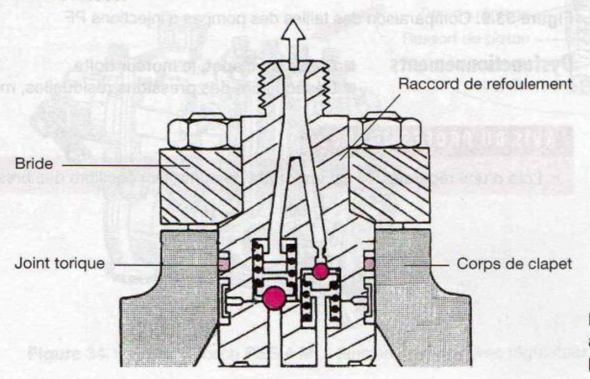


Figure 33.7. Clapet GDV à pression constante sur pompe monocylindre

• **Fonctionnement**

Phase « injection » : le clapet « a » **(fig. 33.8)** se soulève normalement **(fig. 33.2)**.

Phase « fin de refoulement » : le clapet « a » **(fig. 33.7 et 33.8)** retombe sur son siège étanche. L'onde de pression provoquée par cette fermeture est gérée par le *clapet à bille* « b » **(fig. 33.7 et 33.8)** à travers le gicleur « c » **(fig. 33.7 et 33.8)**.

La pression résiduelle dans la tuyauterie est ajustée de façon très précise par la tension du ressort « d ».

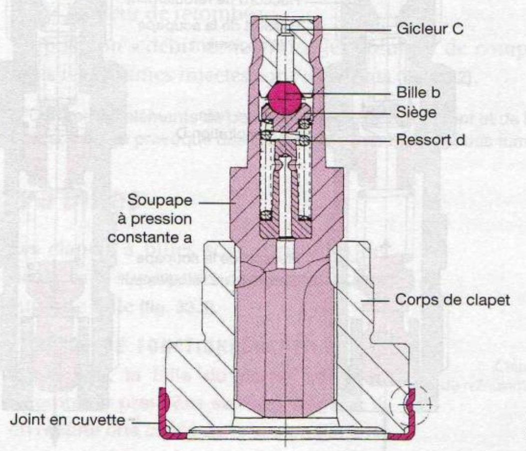


Figure 33.8. Soupape Bosch à pression constante



Figure 33.9. Comparaison des tailles des pompes d'injections PF

Dysfonctionnements

- **Casse du clapet, le moteur boite.**
- **Déséquilibre des pressions résiduelles, moteur instable.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

• Lors d'une réparation, il est important de contrôler l'équilibre des pressions des ressorts « d ».

Principaux types de pompes en ligne Bosch

Mis à part la pompe de taille « A » **(fig. 32.13)**, aujourd'hui pratiquement abandonnée au profit soit des *pompes distributrices*, ou des tailles « MW », les modèles sont choisis en fonction des pressions à supporter, et des caractéristiques propres à chaque moteur.

1 Pompe d'injection, type PES... « M »

1.1 Exemples

PES… M… :
- 2 à 6 cylindres
- course de piston = 7 mm
- pression maxi = 400 bar environ (1 bar = 100 kPa)

1.2 Description

C'est la pompe du type PE dont les dimensions extérieures sont les plus réduites et sa principale caractéristique réside dans le procédé de réglage du débit. Dans cette pompe, la rotation des *pistons* n'est pas obtenue par une denture mais par l'intermédiaire d'un levier solidaire de la *douille de réglage* **(fig. 34.1)**.

La *tige de réglage* cylindrique en acier présente un méplat et porte des pièces de serrage ou curseurs dans lesquels coulisse le levier des douilles de réglage **(fig. 33.8)**.

Le réglage d'un élément est obtenu par translation du curseur sur la tige de réglage. Par ailleurs, le *piston* repose directement sur le *poussoir à galet* et le réglage du début de refoulement est obtenu par l'utilisation de *galets de poussoirs* de différents diamètres. Le graissage, autonome sur l'ancienne exécution **(fig. 34.1)** est assuré depuis par la pression d'huile moteur **(fig. 34.2)**.

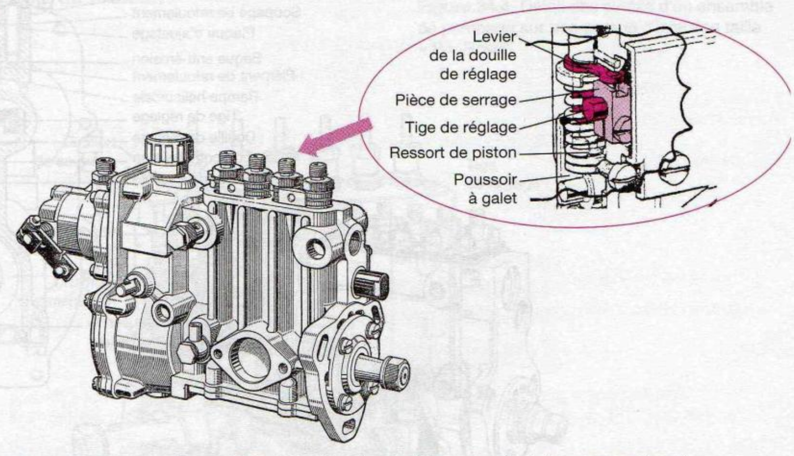


Figure 34.1. Pompe Bosch PES 4 M… (ancien modèle, avec régulateur pneumatique)

Dysfonctionnement ■ Vibrations au ralenti, dues à un déséquilibrage des débits.

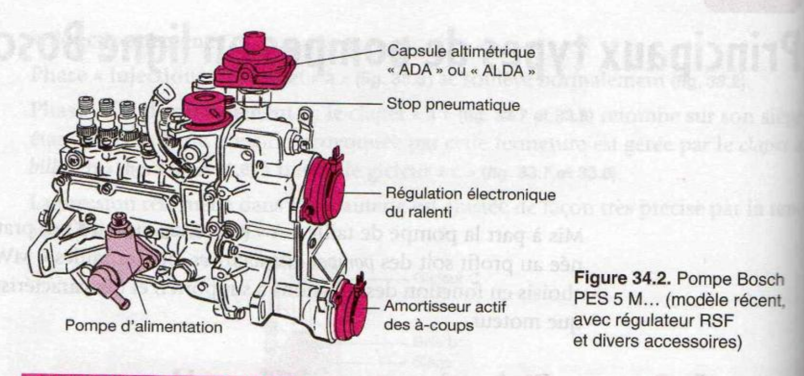


Figure 34.2. Pompe Bosch PES 5 M… (modèle récent, avec régulateur RSF et divers accessoires)

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La pompe de taille « M » a été montée ces dernières années sur les VL Mercédès, équipée de nombreux accessoires **(fig. 34.2)**.
- Les faibles débits au ralenti demandent un équilibrage au banc d'essai diesel très précis.

2 Pompe d'injection PE(S) « MW »

Le modèle de pompe d'injection PE(S) **(fig. 34.3)** est une taille « M » d'exécution renforcée (la lettre W signifie « renforcé ») :

– 4 à 8 cylindres ;
– course de piston = de 8 à 10 mm ;
– pression maxi : 750 bar environ (1 bar = 100 kPa).

Le carter est monobloc, avec plaque de fermeture à la partie inférieure.

Les chemises des éléments de pompage (11) forment brides de fixation (groupes individuels éléments-soupapes) et l'équilibrage des débits s'effectue en tournant l'ensemble (trous oblongs dans les brides).

Le réglage du début de refoulement se fait par demi-cales d'épaisseurs (8) sous les brides.

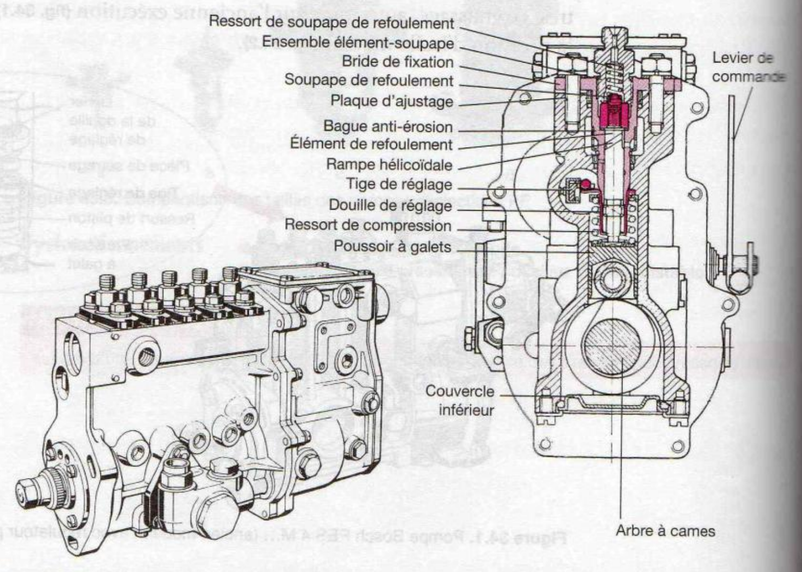


Figure 34.3. Pompe Bosch PES… 5 MW avec régulateur mini-maxi, type RW

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Placer impérativement deux demi-cales d'une même épaisseur sous la même bride.
- Aucun réglage de jeu longitudinal n'est nécessaire, mais il faut changer le roulement AR après chaque démontage.
- Le graissage de la pompe s'effectue par la pression d'huile moteur.
- L'entraînement en rotation des pistons est réalisé comme sur les pompes taille « P » (douille avec bille sertie).

3 Pompe d'injection, type PE... « P »... et PES... « P »...

Ces *pompes* diffèrent des pompes tailles M et A, par leur aspect extérieur, ainsi que par leur construction, mais fonctionnent suivant un même principe **(fig. 34.5 et 34.6)**.

Chaque élément de pompe est assemblé avec la *soupape* et la *tubulure de refoulement* au moyen d'un manchon à bride pour constituer un ensemble.

Le corps de pompe renforcé (pas de plaque de visite pour le réglage) est du type fermé.

Le réglage de base du débit est obtenu par modification de la position angulaire du manchon à bride et le réglage du début de refoulement par interposition de demi-cales d'épaisseurs sous le manchon **(fig. 34.4)**.

Le réglage du débit s'effectue par une *tige de réglage* en forme de cornière, comportant des entailles dans lesquelles s'engagent les billes fixées sur la douille de réglage **(fig. 32.7)**.

La pompe est reliée au circuit de graissage du moteur.

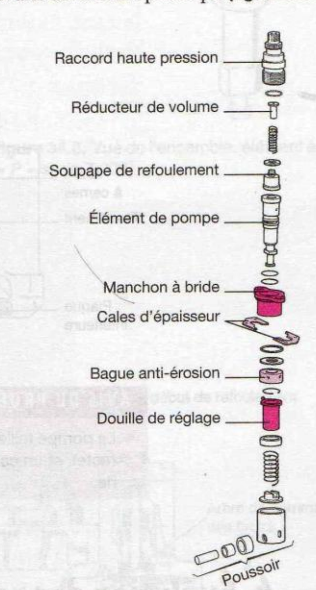


Figure 34.4. Détail des pièces d'un ensemble de pompage sur une pompe d'injection taille « P » Bosch

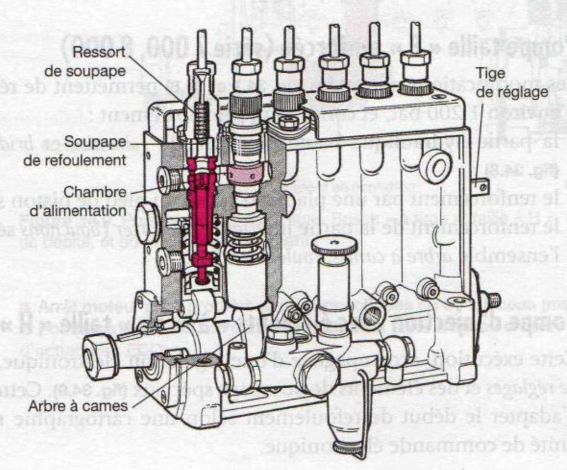


Figure 34.5. Pompe Bosch taille « P » classique *(Doc. RVI)*

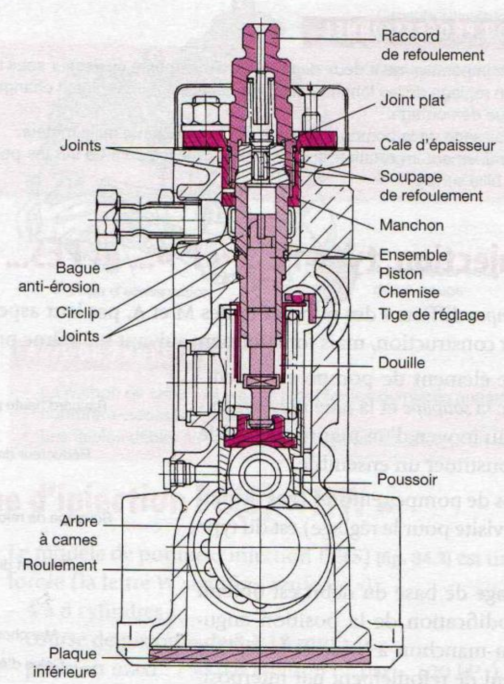


Figure 34.6. Pompe taille « P » série standard *(Doc. Zexel)*

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La pompe taille « P » a fait ses preuves, et avec un entretien (qualité de l'huile de graissage correcte), et un carburant de qualité, bien filtré, le million de kilomètres peut être atteint sans avarie.

4 Évolution des pompes d'injection Bosch

En fonction des impératifs liés à la normalisation ou à des demandes ponctuelles, diverses évolutions sont apparues.

4.1 Pompe taille « P » renforcée (série 7 000, 8 000)

Les modifications apportées **(fig. 34.7 et 34.8)** permettent de résister à des pressions d'environ 1 200 bar, et concernent principalement :

- la partie hydraulique haute pression (1) (*chemise* et *bride* d'une seule pièce) **(fig. 34.8)** ;
- le renforcement par une plaque d'appui du pied de piston sur le *poussoir* (2) ;
- le renforcement de la partie inférieure du *carter* (*bouchons* séparés) (3) ;
- l'ensemble *arbre à cames, roulements* (4).

4.2 Pompe d'injection avec éléments « à tiroir » taille « H »

Cette exécution, accompagnée d'une régulation électronique, comporte deux *tiges de réglages* et des éléments de pompage spéciaux **(fig. 34.9)**. Cette particularité permet d'adapter le début de refoulement selon une cartographie mémorisée dans une unité de commande électronique.

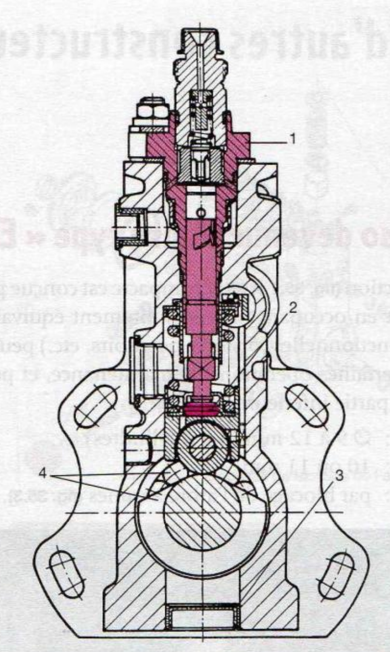


Figure 34.7. Pompe Bosch taille « P » renforcée (série 7 000)

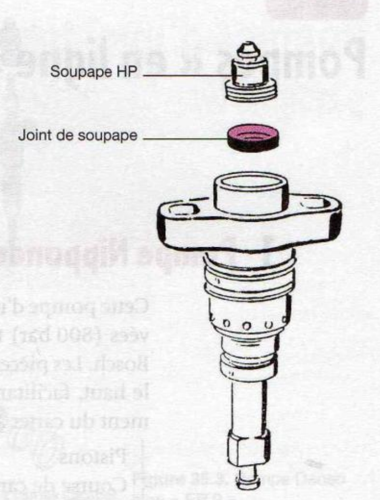


Figure 34.8. Vue de l'ensemble, élément à bride (« P » série 7 000)

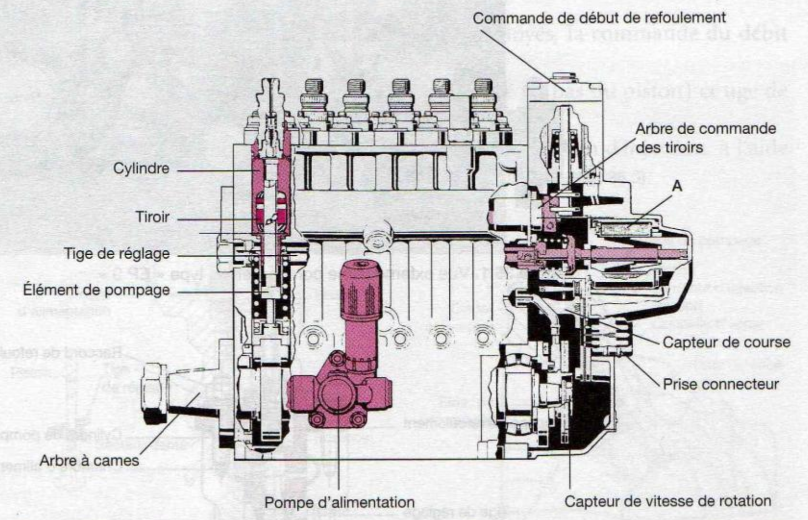


Figure 34.9. Pompe d'injection en ligne Bosch « à tiroir », taille « H », avec régulation électronique de débits, et du début de refoulement

Dysfonctionnements

- Arrêt moteur pour problèmes de connectiques ou de faisceau (mauvais contacts).
- Pompage au ralenti, ou démarrage difficile, suite à un jeu d'usure du noyau de la bobine d'actionneur EDC.

Pompes « en ligne » d'autres constructeurs

1 Pompe Nippondenso devenue Denso type « EP 9 »

Cette pompe d'injection **(fig. 35.1 et 35.2)** compacte est conçue pour des pressions éle-vées (800 bar) tout en occupant un encombrement équivalent à une taille « A » Bosch. Les pièces fonctionnelles (pistons, poussoirs, etc.) peuvent être déposées par le haut, facilitant certaines opérations de maintenance, et permettant le renforce-ment du carter à la partie inférieure **(fig. 35.2)**.

Pistons	:	∅ 9 à 12 mm (4 à 8 cylindres).
Course de came	:	10 ou 11 mm.
Calage	:	par blocage de l'arbre à cames **(fig. 35.3)**.

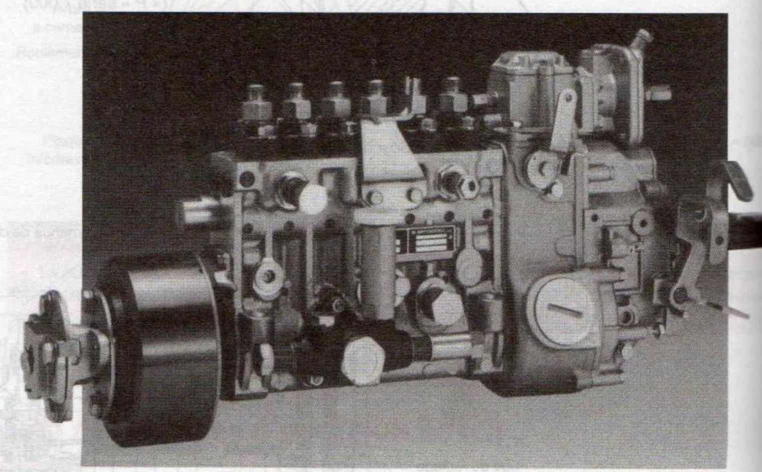


Figure 35.1. Vue externe d'une pompe Denso, type « EP 9 »

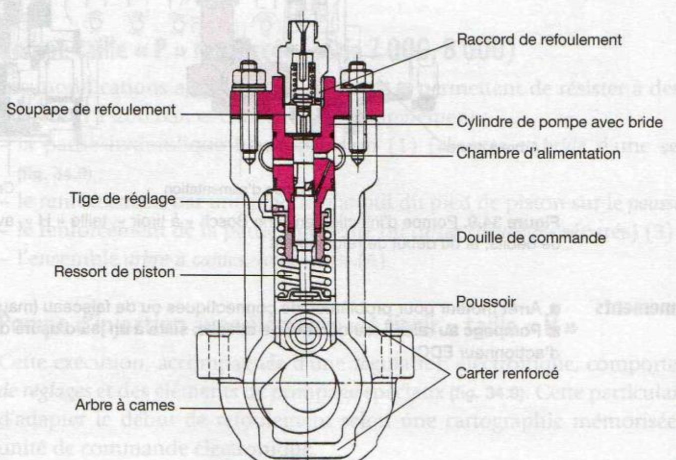


Figure 35.2. Pompe Denso « EP 9 » en coupe

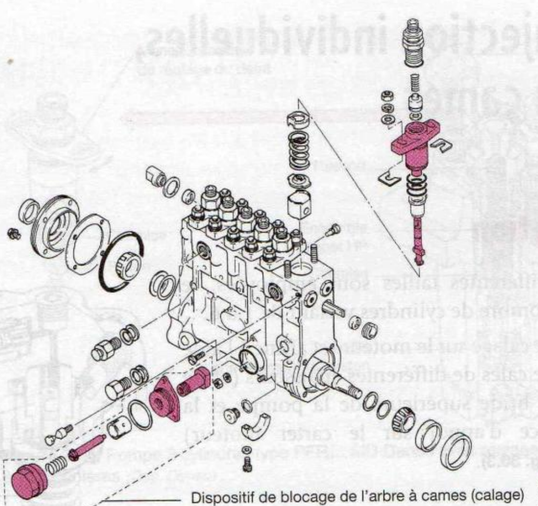


Figure 35.3. Pompe Denso type « EP 9 »

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Cette pompe à injection équipe de nombreux constructeurs (Volvo, Komatsu, Hino, Cummins, etc.).
- Ne pas oublier de retirer le blocage de l'arbre à cames, après avoir calé la pompe sur le moteur !!!
- La société « Denso » fabrique également des pompes distributrices « VE » mécaniques et électroniques.

2 Pompes en ligne Caterpillar

Plusieurs modèles de pompes en ligne ont été employés, la commande du débit étant effectuée :

- soit par rotation du piston avec secteur denté (fixé en bas du piston) et tige de réglage : pompe « interne » ou New Scroll **(fig. 35.4)** ;
- soit par déplacement d'un tiroir de débit, agissant sur la fin d'injection, à l'aide d'un étrier de commande : pompe à « manchon doseur » **(fig. 35.5)**.

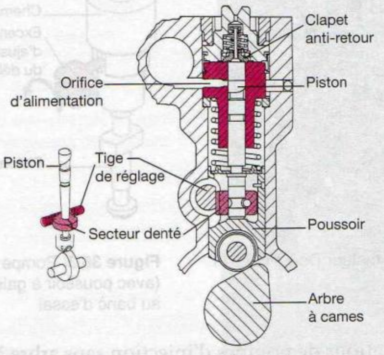


Figure 35.4. Pompe Caterpillar « interne » ou New Scroll

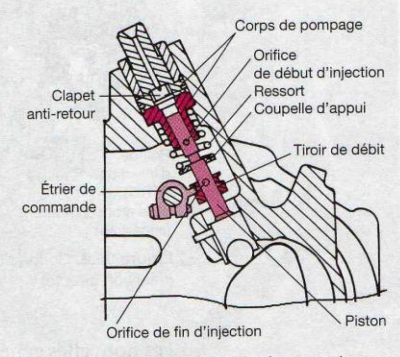


Figure 35.5. Pompe Caterpillar à « manchon doseur »

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le système de débit « à tiroir » ou manchon doseur est également employé par Bosch sur les pompes distributrices « VE », et sur la pompe en ligne taille « H » (pour le début de refoulement) **(fig. 35.5)**.

Pompes d'injection individuelles, sans arbre à cames

1 Description

Différentes tailles sont employées, le nombre de cylindres variant de 1 à 6.

Le calage sur le moteur est affiné à l'aide de cales de différentes épaisseurs (entre la bride supérieure de la pompe et la face d'appui sur le carter moteur) **(fig. 36.3)**.

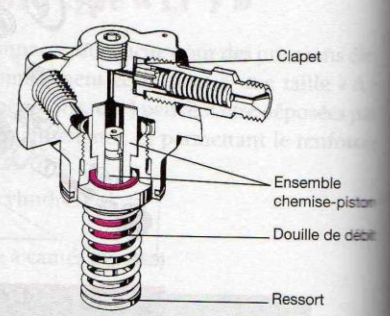


Figure 36.1. Pompe monocylindre Bosch type « PFE1 Q »

Le fonctionnement de ces pompes est identique à celui d'une pompe en ligne classique, mais l'entraînement s'effectue par l'arbre à cames du moteur **(fig. 36.1 et 36.2)**, et la commande de débit s'effectue :

- par la crémaillère, reliée à un régulateur de vitesse incorporé à la distribution du moteur (pompe mécanique) ;
- pilotée par un calculateur, pour les pompes unitaires électroniques.

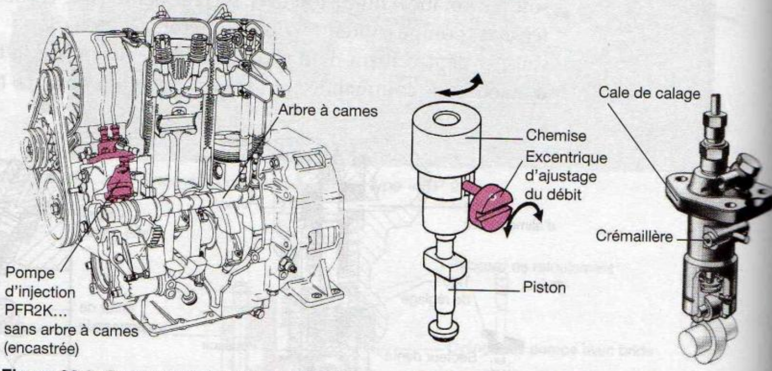


Figure 36.2. Coupe du moteur Deutz F2L511 (injection directe)

Figure 36.3. Pompe d'injection PFR (avec poussoir à galet) et réglage du débit au banc d'essai

Les nouvelles générations de pompes d'injection sans arbre à came comportent des brides de réglage du débit externes **(fig. 36.4)**.

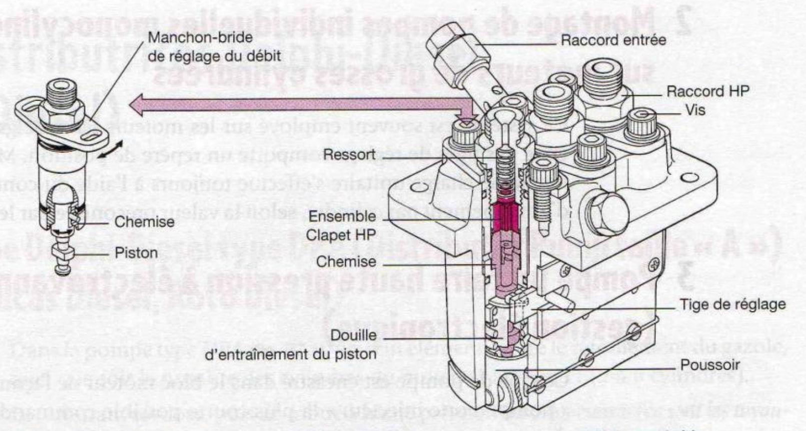


Figure 36.4. Pompe 3 cylindres type PFR… MD Denso avec réglage des débits par brides à boutonnières *(Doc. Denso)*

Dysfonctionnement ■ **Instabilité de régime, surchauffe anormale d'un des cylindres moteur, suite à un déséquilibre des débits entre les cylindres.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les pompes unitaires (monocylindre) montées sur un moteur multicylindres ont une implantation sur le bloc moteur permettant l'utilisation de tuyaux HP « courts » **(fig. 36.5)**.
- Une « synchronisation » entre ces pompes au niveau des débits doit être effectuée, souvent par les températures d'échappement à l'aide d'un « pyromètre » (thermomètre haute température).

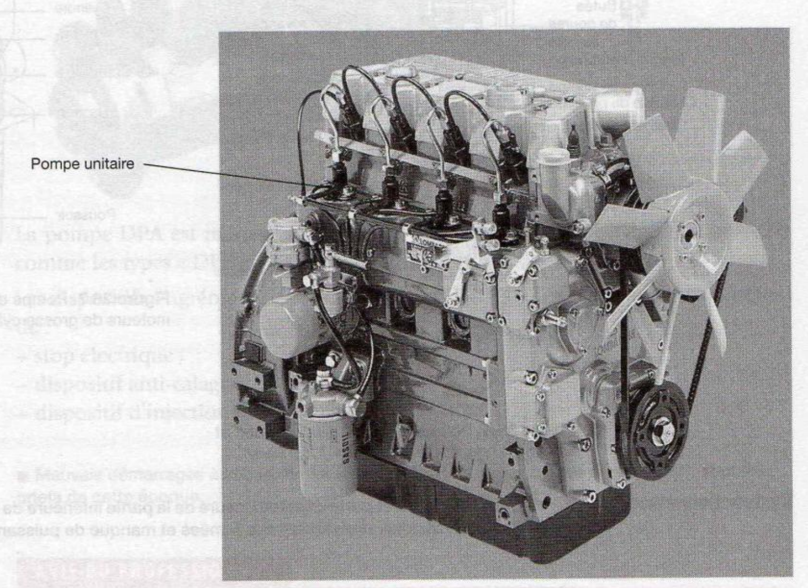


Figure 36.5. Moteur Lombardini « CHD » équipé de pompes d'injection unitaires avec tuyaux courts

2 Montage de pompes individuelles monocylindre sur moteurs de grosses cylindrées

Ce système est souvent employé sur les moteurs lents de grosses cylindrées. Chacune des tiges de réglage comporte un repère de position. Mais le réglage du débit de pleine charge unitaire s'effectue toujours à l'aide du contrôle des températures d'échappement par cylindre, selon la valeur préconisée par le constructeur **(fig. 36.7)**.

3 Pompe unitaire haute pression à électrovanne (gestion électronique)

Ce type de pompe est encastré dans le bloc moteur de façon à permettre la liaison « pompe-porte-injecteur » la plus courte possible commandée par l'arbre à cames du moteur **(fig. 36.6 et 36.7)**.

Ce système permet l'obtention de pressions d'injection supérieures à 1 000 bar, les débits sont gérés par une électrovanne à commutation rapide par un calculateur électronique (de la même façon qu'un injecteur-pompe). Ce système est plus simple à mette en place par le constructeur que l'injecteur-pompe, mais sera remplacé à terme par celui-ci ou par le « rail commun ».

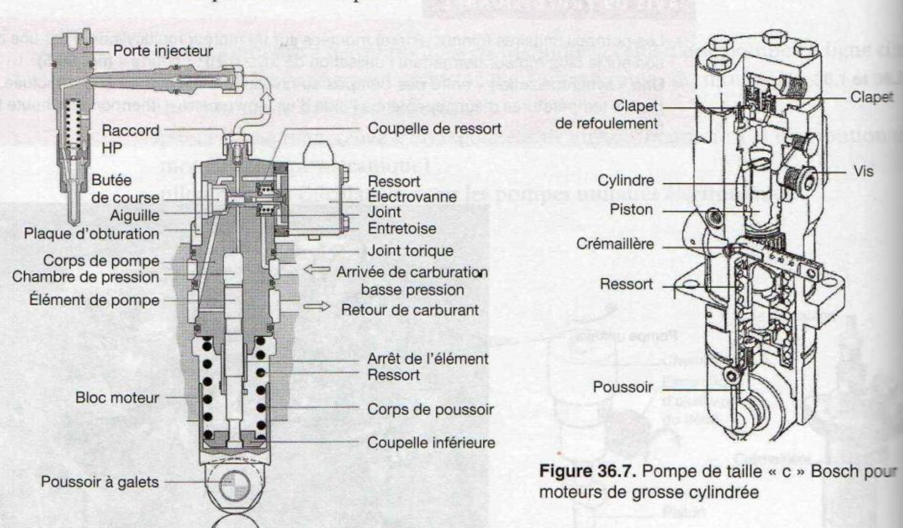


Figure 36.6. Pompe unitaire à électrovanne et liaison « tuyau court-injecteur » *(Doc. Bosch)*

Figure 36.7. Pompe de taille « c » Bosch pour moteurs de grosse cylindrée

Dysfonctionnement

■ **Fuites entre raccord et porte-injecteur, usure de la partie inférieure de commande, par les pointes de hautes pressions, provoquant des fumées et manque de puissance du moteur.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La recherche de pannes sur les systèmes à pompe unitaire à électrovanne est identique à tous ces nouveaux produits (injecteur-pompe, rail commun, VE électronique, etc.), et demande un outillage adapté (lecture des « codes défauts », oscilloscope, multimètre), et des techniciens formés à ces technologies.

Pompes distributrices Delphi-Diesel (ex Lucas Diesel)

1 Pompe Delphi-Diesel type DPA (Distributor Pump taille « A ») (ex Lucas Diesel, Roto Diesel)

Dans la pompe type DPA **(fig. 37.1)**, un seul élément assure le refoulement du gazole, quel que soit le nombre des cylindres du moteur à alimenter (2 à 6 cylindres).

Le carburant est dosé, puis distribué à haute pression aux injecteurs *(ce sont les tuyauteries HP qui déterminent l'ordre d'injection aux injecteurs)* et aux intervalles requis par l'intermédiaire d'un bloc hydraulique :

– le distributeur tournant ou rotor de pompage **(fig. 37.2)** ;
– la partie fixe ou tête hydraulique, sur laquelle sont fixées les sorties haute pression **(fig. 37.2)**.

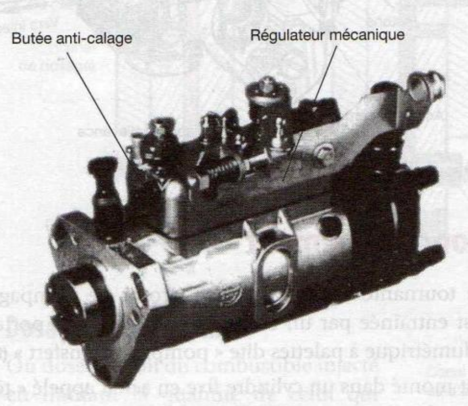


Figure 37.1. Pompes à distributeur rotatif type DPA (licence CAV)

La pompe DPA est maintenant obsolète, et a fait place aux générations actuelles comme les types « DPC, DPS, DP200 ».

Les dispositifs d'agrément de conduite étaient limités, à l'époque, et se composaient de :

– stop électrique ;
– dispositif anti-calage ;
– dispositif d'injection différée.

Dysfonctionnement ■ **Mauvais démarrages à chaud, fumées en accélération, fuites sur les raccords HP, sont les griefs de cette époque.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La pompe « DPA » est la première pompe distributrice à pistons radiaux en Europe, sortit sous licence « Stanadyne » ex Roosa master. M. Roosa (Américain) est l'inventeur de cette technique.
- Cette pompe d'injection ne comportait pas de débit de surcharge, ni de stop électrique au début.

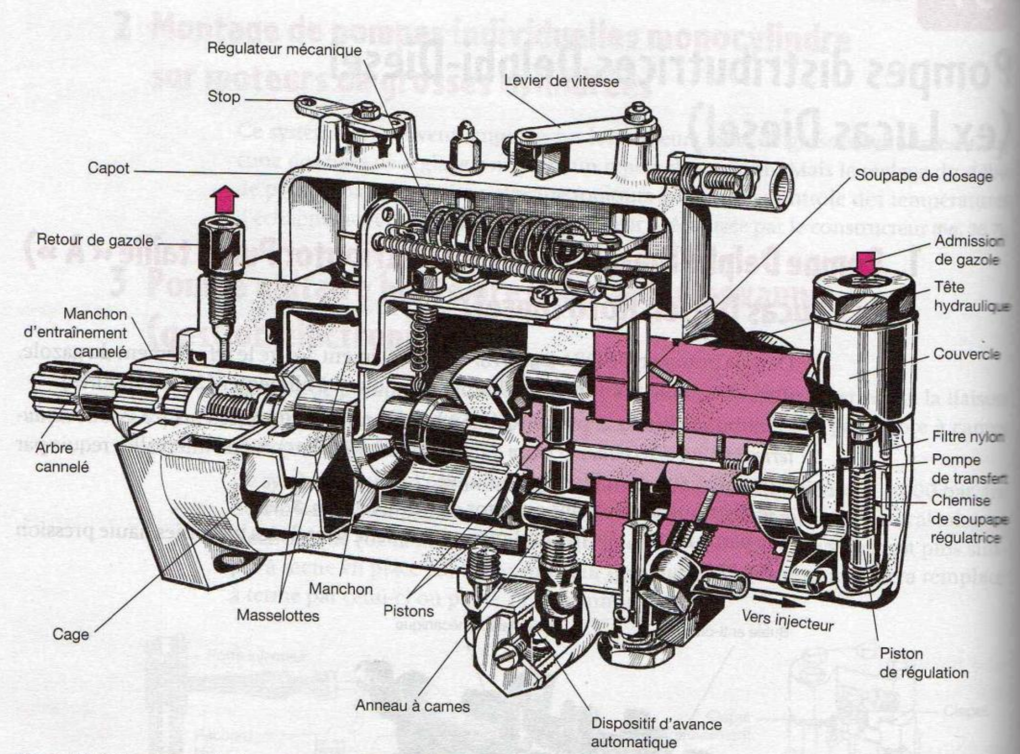


Figure 37.2. Vue interne de la pompe d'injection « DPA »

2 Principe de fonctionnement

Une pièce tournante centrale appelée « rotor de pompage et de distribution » **(fig. 37.2)** est entraînée par un arbre cannelé ; ce rotor porte à une extrémité une pompe volumétrique à palettes dite « pompe de transfert » **(fig. 37.2)**.

Le rotor est monté dans un cylindre fixe en acier, appelé « tête hydraulique » dans lequel il est ajusté avec une grande précision. La partie du rotor qui effectue le « pompage » possède un alésage transversal dans lequel coulissent deux pistons opposés **(fig. 37.3 et 37.4)**.

Lors du refoulement, ces deux pistons sont actionnés par deux galets cylindriques **(fig. 38.5)** qui sont repoussés par les bossages des cames usinées à l'intérieur d'un anneau fixe à cames.

L'élément « distributeur » du rotor comporte un canal axial qui relie la chambre, située entre les pistons, à des canaux percés radialement dans le rotor et destinés à l'admission et au refoulement du combustible **(fig. 37.4)**.

Le canal de distribution se présente successivement pendant la rotation du rotor, devant des canaux de sortie percés dans la tête hydraulique **(fig. 37.3a et b et 37.4)** et qui alimentent les injecteurs. Le nombre des canaux de sortie est égal au nombre de cylindres du moteur.

Le régulateur contrôle l'entrée du combustible dans ce canal d'entrée appelé « canal de dosage ».

2.1 Admission du combustible dans le corps de pompe à pistons opposés

Quand le rotor tourne, un canal d'admission vient se placer devant le canal de dosage de la tête hydraulique ; le gazole pénètre, à pression de dosage, entre les pistons et provoque ainsi leur écartement **(fig. 37.4a et b)**.

Le déplacement des pistons est variable et dépend de la quantité de combustible qui peut pénétrer dans la chambre pendant le temps où les orifices sont alignés.

2.2 Refoulement du combustible

Le rotor continue à tourner, le canal de dosage se trouve obstrué et, lorsque le canal de distribution du rotor coïncide avec un des canaux de sortie de la tête hydraulique, les galets entrent en contact avec les bossages de l'anneau à cames et les pistons sont poussés l'un vers l'autre **(fig. 37.3a et b)**.

Le combustible ainsi comprimé est envoyé aux injecteurs.

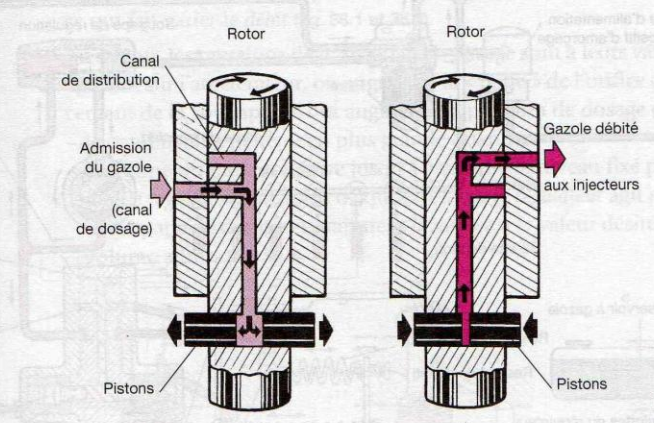
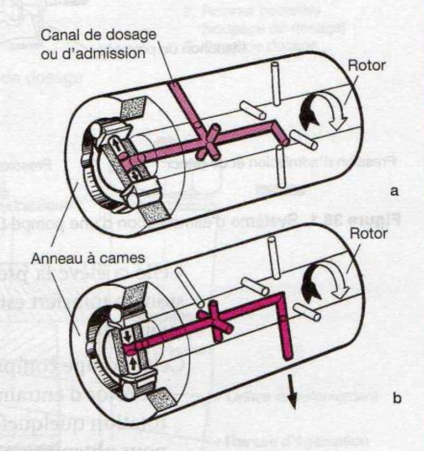


Figure 37.3. Coupe du rotor de pompage

2.3 Dosage du combustible

On dose le débit du combustible injecté en limitant la quantité de celui qui pénètre à « l'admission ». Cette quantité dépend de deux facteurs principaux :
- la pression à l'entrée ;
- la durée d'ouverture du passage d'admission.

Un dosage précis est obtenu en agissant sur la pression à l'entrée. La surface effective de l'orifice de dosage est déterminée par le mouvement de la soupape de dosage **(fig. 37.2 et 38.3)**. Le gazole venant de la pompe à « pression de transfert » traverse « l'orifice » de dosage déterminé par la position d'ouverture de la soupape. Cet orifice provoque une chute de pression dont la valeur résultante est appelée « pression de dosage » **(fig. 38.1)**.



a) Admission du combustible
b) Compression du combustible vers l'injecteur

Figure 37.4. Rotor et tête hydraulique pour moteur à 4 cylindres (4 canaux d'admission sur le rotor et 4 canaux de décharge dans la tête hydraulique)

Étude du circuit d'une pompe DPA

1 Fonctionnement et description

Le combustible pénètre dans la pompe à *pression d'alimentation* **(fig. 38.1)** puis, après passage par le *filtre*, il arrive à la pompe de transfert (pompe volumétrique).

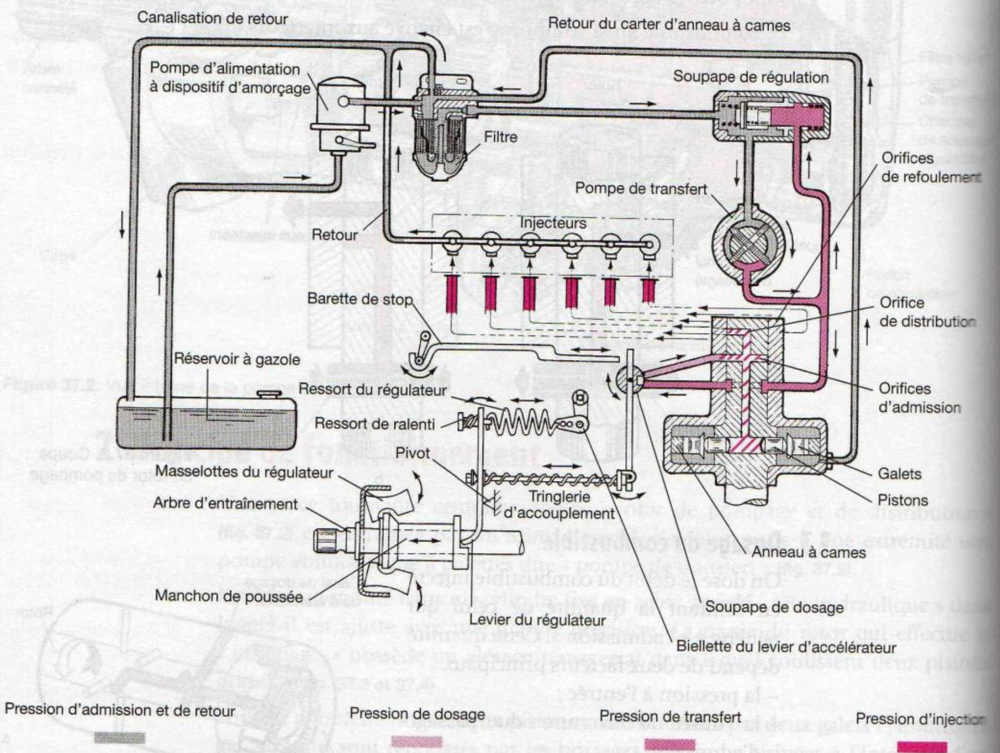


Figure 38.1. Système d'alimentation d'une pompe DPA à régulateur mécanique

Celle-ci élève la pression du combustible à un niveau dit de « transfert ». La pression de transfert est fonction de la vitesse du moteur, elle s'élève lorsque la vitesse augmente.

Cette pompe comprend **(fig. 38.2)** :

- un rotor d'entraînement (1) avec filetage à droite ou à gauche suivant le sens de rotation quelquefois équipé d'une rainure d'égalisation des pressions résiduelles pour obtenir une meilleure régularité des débits **(fig. 38.5)** ;
- deux palettes (3) coulissant dans les encoches du rotor assurent l'étanchéité sur la bague extérieure ;
- une bague extérieure excentrée (2), fixée dans la tête hydraulique dont le sens de montage est lié au sens de rotation de la pompe ;

– une soupape de régulation de pression (fig. 38.7 et 38.8) qui remplit deux fonctions :
• contrôler la pression de transfert en maintenant un rapport défini « pression/vitesse » ;
• permettre la purge de la tête hydraulique lorsque le moteur est à l'arrêt (rôle du by-pass).

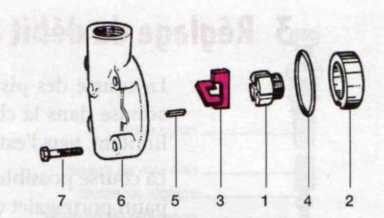


Figure 38.2. Pompe à palettes

2 Variation du débit (du ralenti à la marche normale)

En agissant sur la soupape de dosage, elle-même reliée au levier d'accélérateur et au *régulateur*, on fait varier la pression de dosage (modification de l'orifice de dosage), ce qui fait varier le *débit* (fig. 38.1 et 38.3).

Au ralenti, les pressions de transfert et de dosage sont à leurs valeurs minimales : en agissant sur l'accélérateur, on augmente la « taille » de l'orifice de dosage par déplacement de la soupape, ce qui augmente la pression de dosage (fig. 38.4) :
– le combustible pénètre en plus grande quantité ;
– le régime du moteur s'élève jusqu'à atteindre le niveau fixé par la tension du *ressort de régulation* (position d'équilibre), car le *régulateur* agit sur la « position » de la soupape de dosage et maintient la vitesse à la valeur désirée en faisant varier le volume admis (fig. 38.3).

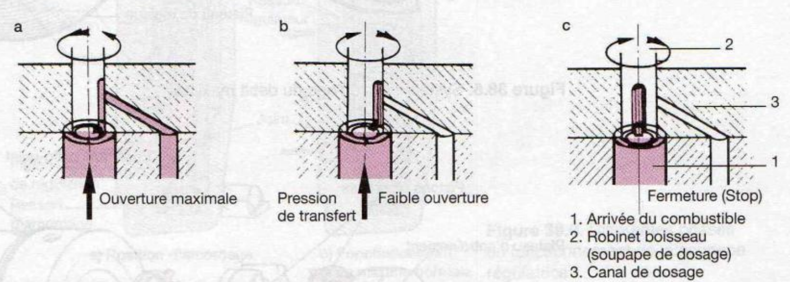


Figure 38.3. Variations des ouvertures du canal de dosage

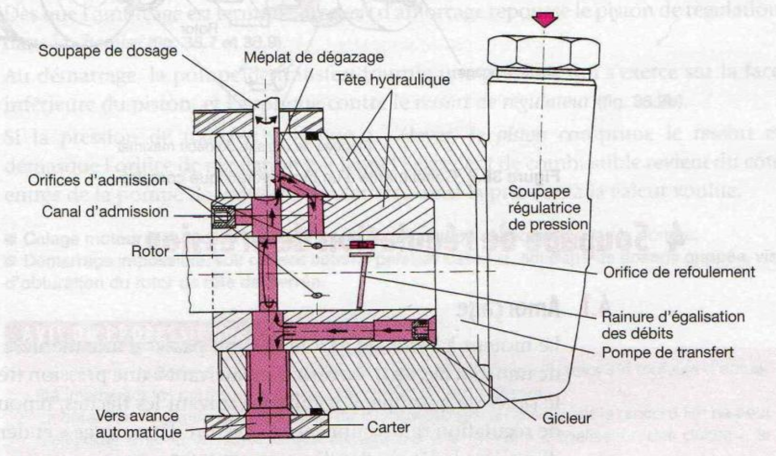


Figure 38.4. Coupe d'une tête hydraulique

3 Réglage du débit maximal

La course des pistons du rotor étant déterminée par la quantité de combustible admise dans la chambre, il est possible d'obtenir un réglage de *débit maximal* en limitant, vers l'extérieur, la course des patins porte-galets **(fig. 38.5 et 38.6)**.

La course possible des pistons est représentée par le jeu existant entre le talon F du patin porte-galet et le bord extérieur C.

La distance du bord extérieur des secteurs au centre du plateau est variable, ce qui permet de régler la course maximale des pistons en faisant pivoter les plateaux sur eux-mêmes.

On bloque l'ensemble à l'aide de deux vis E.

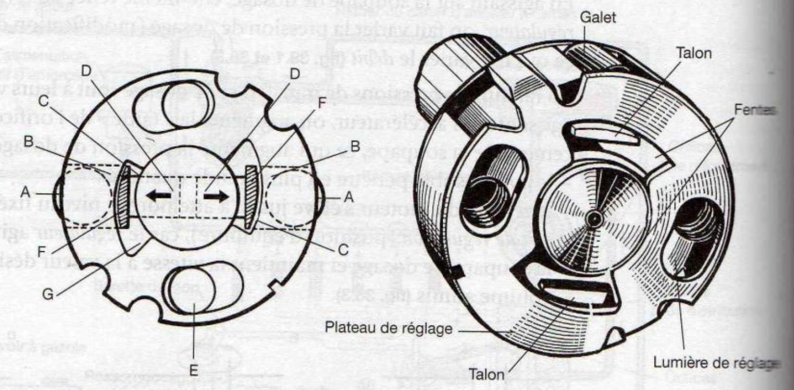


Figure 38.5. Système de réglage du débit maximal

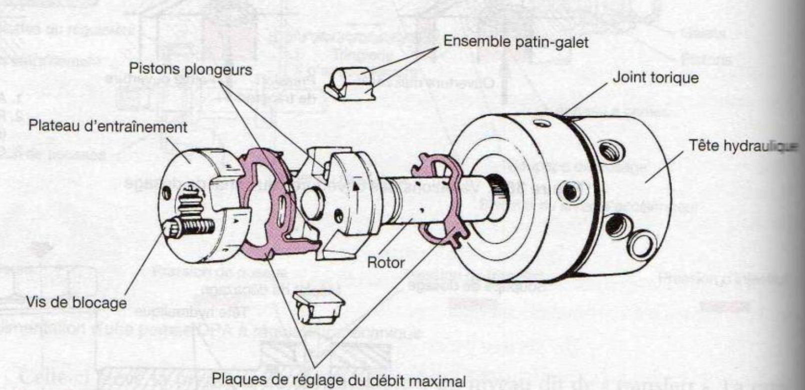


Figure 38.6. Constituants d'un bloc hydraulique complet

4 Soupape de régulation de pression

4.1 Amorçage

Le moteur à l'arrêt, le gazole ne peut passer d'une manière normale par la pompe de transfert **(fig. 38.7)**. Le carburant arrivant à une pression très faible, il pénètre dans le *carter* de la soupape régulatrice suivant les flèches, repousse vers le bas le *piston* de régulation qui comprime le « ressort d'amorçage » et démasque le canal d'accès direct vers la tête hydraulique **(fig. 38.9a)**.

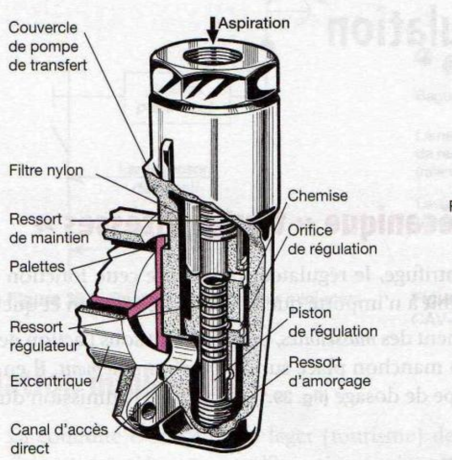


Figure 38.7. Soupape régulatrice

Figure 38.8. Vue éclatée de la soupape régulatrice

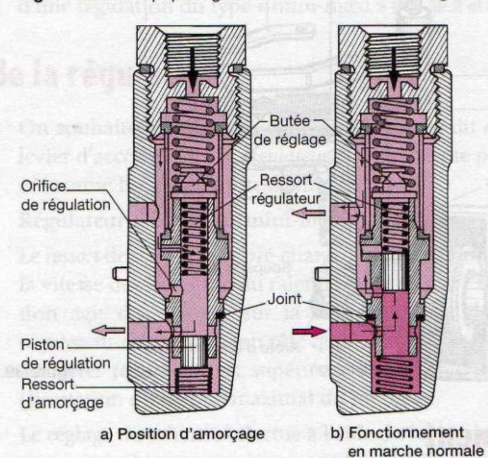


Figure 38.9. Différentes phases du fonctionnement de la soupape régulatrice

4.2 Marche normale

Dès que l'amorçage est terminé, le *ressort* d'amorçage repousse le piston de régulation dans la *chemise* **(fig. 38.7 et 38.9)**.

Au démarrage, la pompe de transfert fournie une pression qui s'exerce sur la face inférieure du piston, et l'applique contre le *ressort de régulateur* **(fig. 38.9b)**.

Si la pression de transfert continue à s'élever, le *piston* comprime le ressort et démasque l'orifice de régulation par lequel l'excédent de combustible revient du côté entrée de la pompe de transfert, régularisant ainsi la pression à la valeur voulue.

Dysfonctionnements

- **Calage moteur à la décélération, dû à une accumulation d'émulsion dans la pompe.**
- **Démarrage impossible, voir causes comme palettes cassées, soupape de dosage grippée, vis d'obturation du rotor de tête desserrée.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le système de dosage de la quantité de carburant à l'admission du rotor est toujours d'actualité, même sur les nouveaux circuits à rail commun Delphi-Diesel.
- La détection de panne par élimination de chaque cylindre en desserrant le raccord HP ne peut s'effectuer avec la tête hydraulique comprenant une « rainure d'égalisation des débits », le moteur cale **(fig. 38.4)**.

39 ...

Dispositif de régulation

1 Régulation mécanique « toutes vitesses »

Du type centrifuge, le régulateur qui assure cette fonction permet un ajustemen précis du débit à n'importe quelle vitesse de rotation et quelle que soit la charge.

Le déplacement des *masselottes*, qui s'écartent sous l'action de la force centrifuge, fai coulisser un manchon placé sur l'*arbre d'entraînement*. Il en résulte un pivotemen de la soupape de dosage **(fig. 39.1)** qui corrige l'admission du combustible.

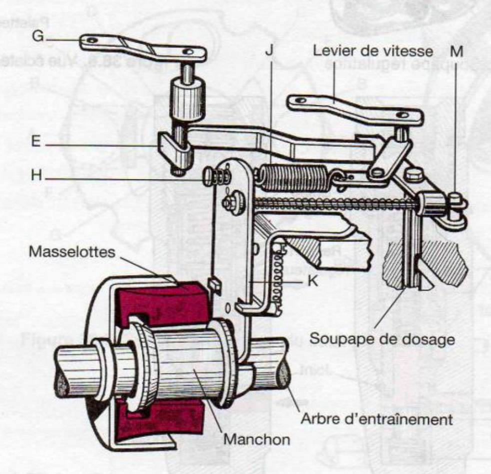


Figure 39.1. Régulateur centrifuge

2 Fonctionnement

Les variations de vitesse de la pompe sont transmises par les *masselottes* au manchon du régulateur et, par suite, au levier basculateur K **(fig. 39.1)** :

- au démarrage, le conducteur amène le levier de vitesse en accélération, le levier K est tiré par le ressort « J » à fond, tournant la soupape de dosage vers l'admission maximale **(fig. 38.3a)** ;
- levier de vitesse en position ralenti, le levier K est soumis à la seule pression du *ressort de ralenti* H ; les *masselottes* permettent une régulation de *débit* selon les fluc-tuations du régime de rotation du moteur **(fig. 39.1)**.

Le mouvement du levier d'accélérateur modifie la tension du ressort principal du régulateur « J », et à chaque position de tension de ce ressort correspondra un régime de rotation du moteur, et la régulation par l'équilibre « Masselottes… Ten-sion ressort » *(régulation toutes vitesses)*.

La limitation de la vitesse de rotation maximale du moteur est obtenue par la limi-tation de la course du levier de vitesse, à l'aide d'une butée réglable au banc d'essai diesel.

La barrette d'arrêt E commandée par le levier G peut, à tout moment, ramener la soupape de dosage à la position fermée (stop), quelle que soit la position de l'accélérateur **(fig. 39.1)**.

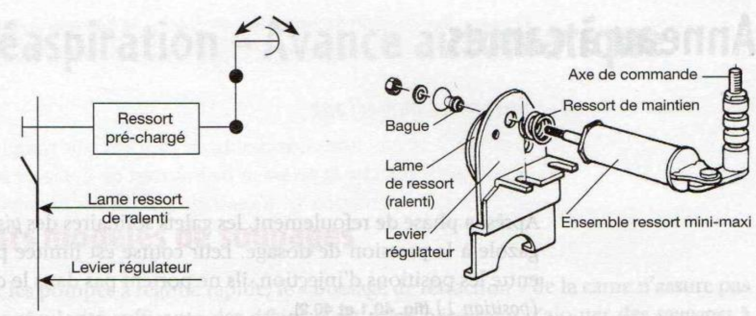


Figure 39.2. Principe de régulateur mini-maxi **Figure 39.3.** Régulateur mini-maxi CAV-Roto-Diesel

3 Régulation mini-maxi

La conduite d'un véhicule léger (tourisme) demande une souplesse particulière, c'est pourquoi les pompes d'injection équipant ces modèles sont en majorité dotées d'une régulation du type « mini-maxi » **(fig. 39.2 et 39.3)**.

4 But de la régulation

On souhaite obtenir une commande directe du *débit* (soupape de dosage) par le levier d'accélération, le *régulateur* n'agissant que pour stabiliser le régime de *ralenti* et comme limiteur de vitesse maxi.

Régulateur mécanique mini-maxi

Le *ressort* de vitesse est « pré-chargé » en usine, dans un tube **(fig. 39.2 et 39.3)**. Dès que la vitesse de régulation au ralenti (lame ressort) a été dépassée, le levier d'accélération agit directement sur la commande de débit (soupape de dosage) et le régulateur ne reprend son rôle que lorsque la *force centrifuge* des masses, transmise au levier régulateur est supérieure à la charge en place du ressort « pré-chargé » (limitation du régime maximal du moteur).

Le réglage du ralenti s'effectue à l'aide du levier de *ralenti* (B) **(fig. 39.4)**, celui-ci pouvant servir de stop en pivotant la butée (R), libérant le levier vers le stop (cas de non-fonctionnement de l'électrovanne de stop).

La *butée* mini du levier de vitesse devient réglage de l'anti-calage **(fig. 39.4)**, remplaçant la vis butée sur la version « toutes vitesses ».

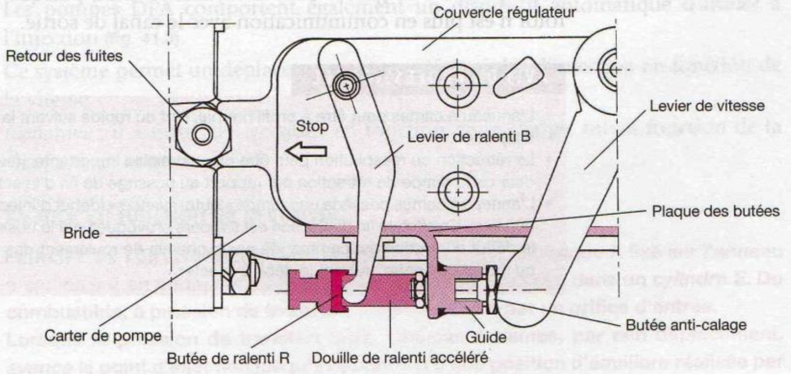


Figure 39.4. Vue des commandes (cas d'un régulateur mini-maxi)

40 Anneau à cames

Après la phase de refoulement, les galets solidaires des *pistons* sont repoussés par le gazole à la pression de dosage. Leur course est limitée par réglage mécanique et entre les positions d'injection, ils ne portent pas dans le creux de l'anneau à cames *(position 1)* **(fig. 40.1 et 40.2)**.

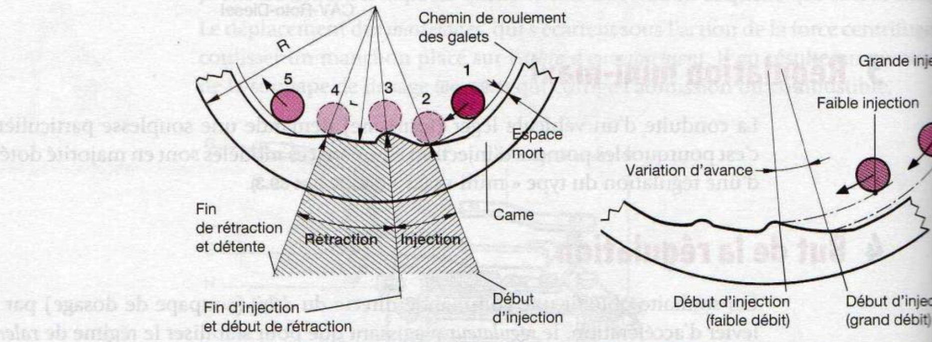


Figure 40.1. Détail des bossages de l'anneau à cames

Figure 40.2. Point d'injection en fonction du débit

Au moment où le chemin de *roulement* rencontre la rampe des bossages *(position 2)*, les galets, et par suite les *pistons*, sont renvoyés vers le centre.

Cette position détermine le début d'injection, puis les galets montent sur la rampe pour atteindre le sommet des bossages. Dès qu'ils dépassent ce sommet, c'est la fin de l'injection *(position 3)* car le gazole à la pression de dosage repousse les galets vers l'extérieur et l'*injecteur* se ferme.

Il existe cependant une deuxième rampe (de 3 à 4) qui est une portion de cercle concentrique à la circonférence extérieure de l'anneau à cames. Son rôle est de limiter la *course* de détente des *pistons* afin de maintenir une pression résiduelle dans les tuyauteries (rétraction).

À la *position 4*, les galets quittent la rampe et sont repoussés vers l'extérieur : l'action sur la pression du gazole dans la tuyauterie cesse, puisque le canal d'injection du rotor n'est plus en communication avec le canal de sortie.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- L'anneau à cames peut être à profil normal, lent ou rapide suivant la pente donnée à la rampe d'injection.
- La rétraction ou réaspiration peut être plus ou moins importante suivant la position en profondeur de la rampe de rétraction par rapport au bossage de fin d'injection.
- L'anneau à cames possède une rampe « auto-avance » (début d'injection variable et fin d'injection fixe). En effet, la fin d'injection est toujours provoquée par le bossage qui est fixe, alors que le début d'injection est commandé par le chemin de roulement des galets qui s'écartent plus ou moins du centre, suivant le débit à injecter.

Soupapes à réaspiration – Avance automatique

1 Différents modèles de soupapes

Sur les pompes à régime rapide, le « bossage de rétraction » de la came n'assure pas une régularité suffisante des *débits*. Il est donc nécessaire d'ajouter des *soupapes* à réaspiration sur les raccords de sortie **(fig. 41.1)**. On peut utiliser :

– *une soupape à réaspiration* avec « méplat » usiné sur le piston de détente **(fiche 33)** ;

– *une soupape à réaspiration « percée »*, employée lorsque le rotor distributeur comporte une « rainure d'égalisation des débits » **(fig. 41.2)**.

Suivant les applications, plusieurs modèles de soupapes sont employés. Cette rainure est usinée sur le rotor de façon à mettre en communication les canalisations haute pression de trois cylindres pendant que le quatrième se trouve en injection **(fig. 41.1 et 41.2)**.

Ceci permet d'obtenir un équilibre parfait des pressions résiduelles et donc une plus grande régularité des débits.

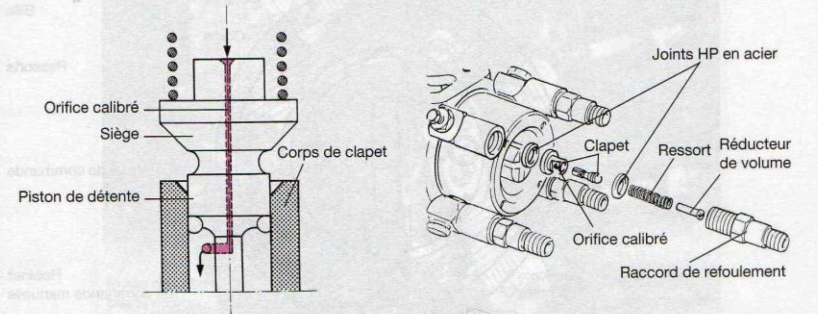


Figure 41.1. Soupape à réaspiration percée Lucas-Diesel

Figure 41.2. Montage du raccord de refoulement (modèle avec clapets à réaspiration)

2 Avance automatique

Les pompes DPA comportent également un dispositif automatique d'*avance* à l'injection **(fig. 41.3)**.

Ce système permet un déplacement progressif du point d'injection en fonction de la vitesse.

Remarque : il a existé des versions en fonction de la charge, ou en fonction de la charge et de la *vitesse*.

2.1 Avance en fonction de la vitesse

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • **Un doigt à extrémité sphérique A fixé sur l'anneau à cames est en appui constant sur un *piston* B qui coulisse dans un *cylindre* E. Du combustible, à pression de transfert, pénètre dans E par un orifice d'entrée.**

Lorsque la pression de transfert croît, l'anneau à cames, par son déplacement, *avance* le point d'injection jusqu'à l'obtention d'une position d'équilibre réalisée par la compression de *ressorts antagonistes*.

Comme la pression de transfert croît avec la vitesse du moteur, l'avance à l'injection augmente au fur et à mesure que le régime augmente.

2.2 Retard au démarrage

Dans ce système, une commande de blocage soit manuelle, soit actionnée par un *ressort taré* empêche la pression de transfert de déplacer le *piston d'avance*. Ce dispositif permet d'améliorer le démarrage à froid sur certains moteurs **(fig. 41.4)**.

Remarques :

- Le choc des galets sur les bossages pendant le temps « injection » tend à faire pivoter les cames vers la position « retard ». Un *clapet* anti-retour placé sur l'entrée du combustible évite cet inconvénient. Le retour vers la position de retard, lors des diminutions de régime, est assuré par le jeu existant entre piston et cylindre. Ce système permet d'obtenir une *avance* atteignant 12° (pompe) à des *vitesses* variables selon la tension des ressorts utilisés.
- Plusieurs variantes de ce principe permettent de modifier le point d'injection en fonction de besoins divers : démarrage – variation de charge – changement de régime.

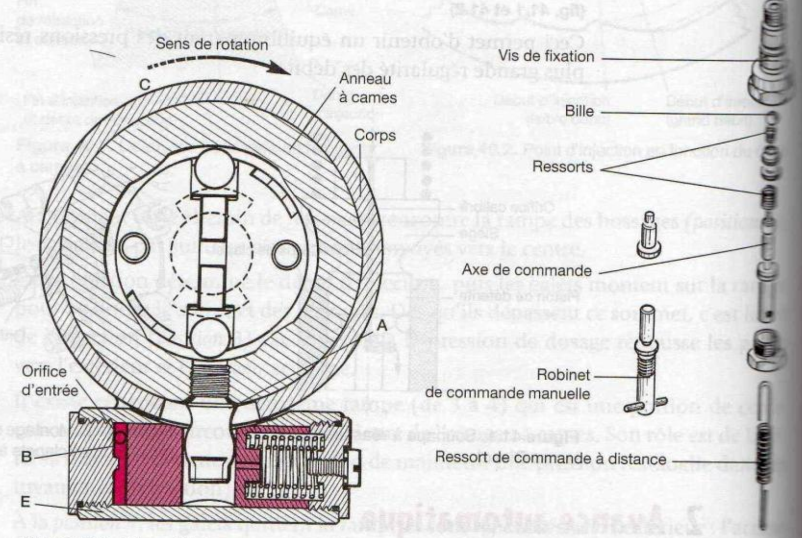


Figure 41.3. Dispositif d'avance automatique

Figure 41.4. Dispositif de blocage manuel d'avance

Dysfonctionnements

- Fumées blanches, bleues à froid, par manque de compensation du point d'avance sur ce modèle.
- Fumées blanches, âcres, ratés à l'accélération, dues au mauvais serrage de la rotule d'avance sur l'anneau à cames », ou bossages de la came usés.

Pompe Delphi-Diesel type DPS

1 Caractéristiques

La *pompe distributrice* de type DPS **(fig. 42.1 et 42.4)** est destinée (comme son homologue DPC) à l'équipement des moteurs diesels de petites et moyennes cylindrées (véhicules, tracteurs agricoles, moteurs industriels, etc.).

Le fonctionnement des principaux circuits est similaire à celui de la pompe du modèle « DPA » et nous allons développer les principales évolutions, ou modifications apportées pour le modèle « DPS », celle-ci étant remplacée par le modèle DP 200.

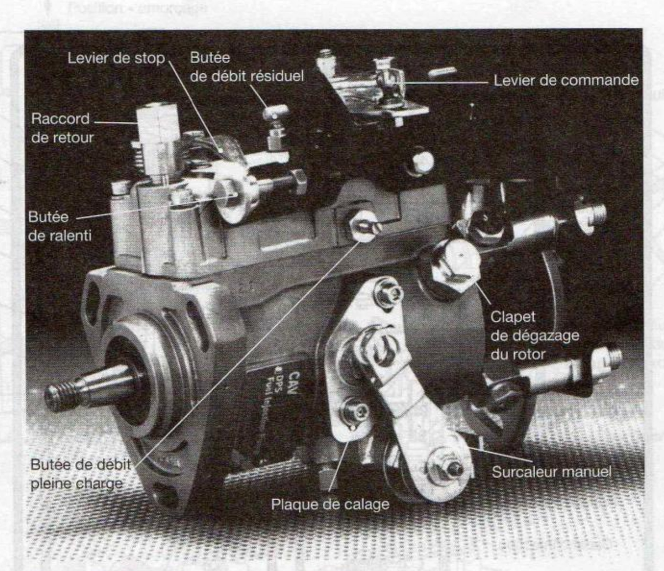


Figure 42.1. Pompe distributrice type « DPS »

2 Entraînement

L'arbre d'entraînement monobloc, avec deux paliers (1 à l'avant, 1 dans un palier support, fig. **42.2**) permet de supporter sans problème l'effort exercé par les distributions à *courroies crantées*. L'arbre comporte également les rainures de coulissement des ensembles « patins-galets » (R) (**fig. 42.2**), les guides d'indexage du rotor et la mortaise d'entraînement. Les cannelures (C) (**fig. 42.3**) permettent l'entraînement de la cage à *masselottes de régulateur* avec amortisseur de vibrations.

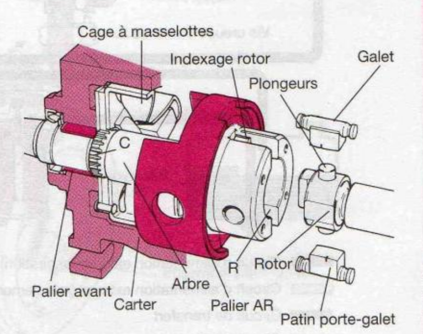


Figure 42.2. Entraînement DPS

Le disque de calage muni d'une encoche permet le blocage de l'*arbre d'entraînement* en position de début d'injection (fig. 42.3).

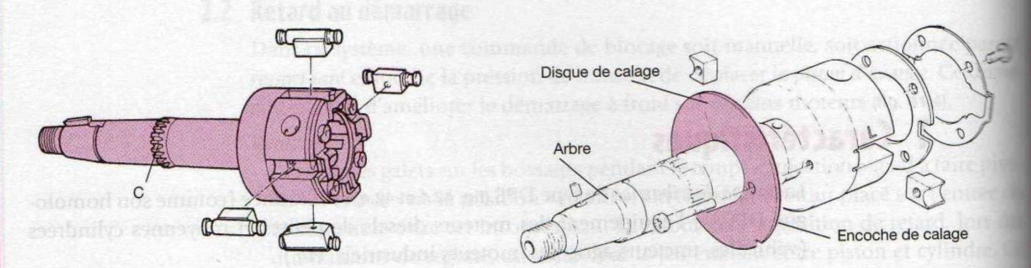


Figure 42.3. Arbre d'entraînement DPS (4 plongeurs)

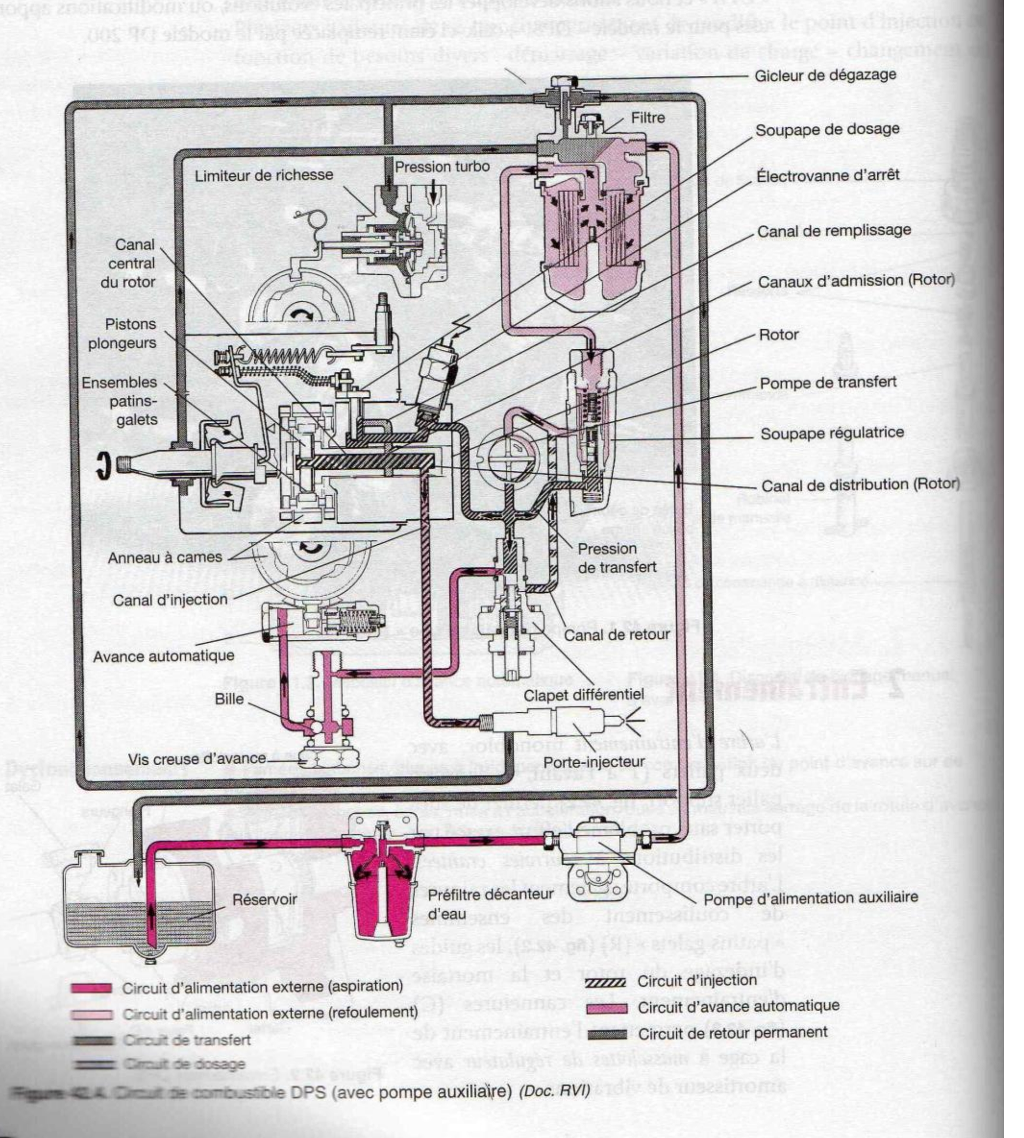


Figure 42.4. Circuit de combustible DPS (avec pompe auxiliaire) *(Doc. RVI)*

Fonctionnement des pompes DPS

1 Circuit d'alimentation

– Le réglage au banc d'essai de la pression de transfert est accessible de l'extérieur **(fig. 43.1)**.
– Deux canaux de remplissage assurent une alimentation optimale du rotor **(fig. 43.2)**.
– Électrovanne d'arrêt (12 ou 24 volts).
– Dispositif de purge automatique **(fig. 43.9)**.

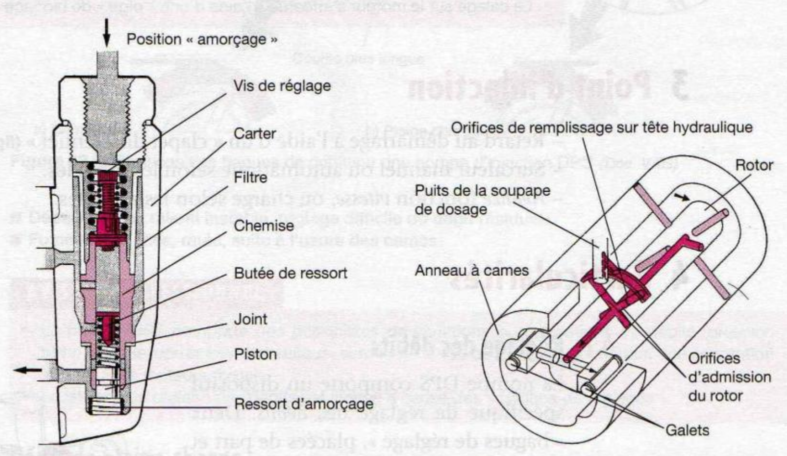


Figure 43.1. Soupape régulatrice DPS *(Doc. RVI)* **Figure 43.2.** Phase admission *(Doc. Delphi-Diesel)*

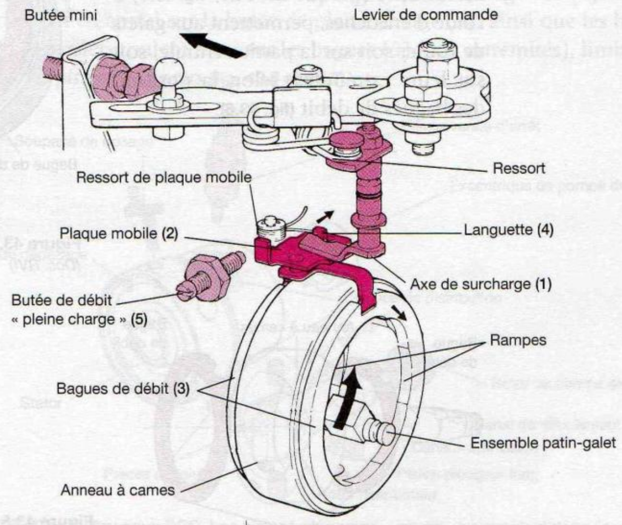


Figure 43.3. Système de surcharge sur la pompe d'injection DPS *(Doc. Delphi-Diesel)*

2 Débit d'injection

- Dispositif de surcharge automatique à l'aide de « bagues de débit » **(fig. 43.3 à 43.5)**.
- Réglage du *débit* de pleine charge accessible de l'extérieur.
- Limiteur de richesse (LDA) équipant les pompes destinées aux moteurs suralimentés **(fig. 43.7 et 43.8)**.
- Possibilités de correction de couple hydraulique sur certains équipements.
- Régulation « mini-maxi » ou « toutes *vitesses* » suivant les besoins.

Dysfonctionnements

- Fuites diverses, au niveau du système d'avance, dues aux fortes pressions de refoulement.
- Jeux dans les biellettes de l'avance faibles charges sur le modèle équipant les utilitaires Ford.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La pompe « DPS », et récemment « DP200 », comporte 2 à 4 plongeurs, et est destinée à des moteurs à injection directe, pour des hautes pressions allant jusqu'à 800 à 1 000 bar.
- Le calage sur le moteur s'effectue à l'aide d'une « pige » de blocage de l'arbre d'entraînement.

3 Point d'injection

- Retard au démarrage à l'aide d'un « clapet différentiel » **(fig. 42.4 et 43.9)**.
- Surcaleur manuel ou automatique selon les modèles.
- *Avance* fonction *vitesse*, ou charge selon les modèles.

4 Particularités

4.1 Réglage des débits

La pompe DPS comporte un dispositif spécifique de réglage des *débits*. Deux « bagues de réglage », placées de part et d'autre de l'anneau à cames **(fig. 43.4 et 43.5)** commandées en rotation par un mécanisme (plaque mobile, **fig. 43.4**) à l'aide d'encoches, permettent aux galets de rouler soit sur la partie centrale, soit sur leurs extrémités, selon la position des bagues de débit **(fig. 43.6)**.

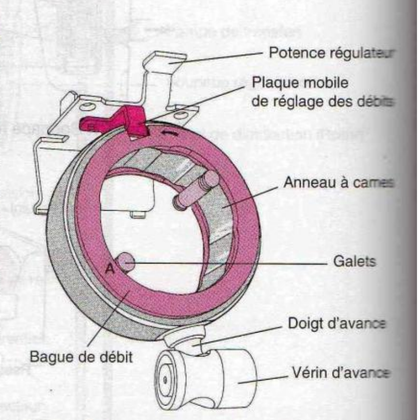


Figure 43.4. Dispositif de réglage des débits *(Doc. RVI)*

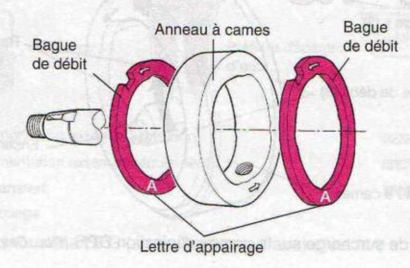


Figure 43.5. Apparaige des bagues de débit *(Doc. RVI)*

4.2 Démarrage

Le levier de commande **(fig. 43.3)** doit impérativement se trouver en position ralenti. L'ensemble axe-levier de démarrage (1) déplace la plaque mobile (2), et les deux bagues de débit (3). Les galets roulent sur leur partie centrale, dans l'évidement ainsi créé, augmentant la course des *pistons* plongeurs **(fig. 43.6)**. Le *débit* injecté est maximal (surcharge).

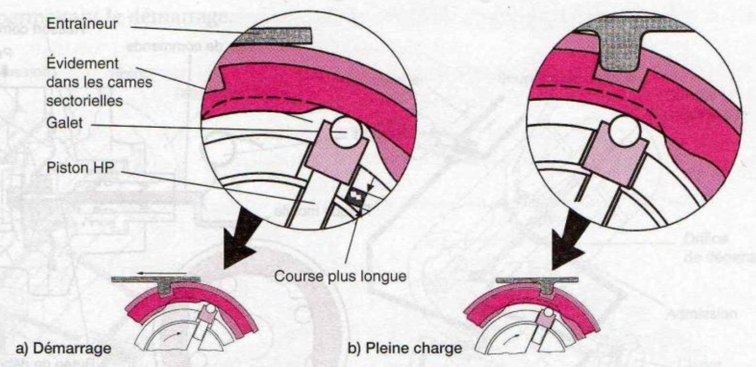


Figure 43.6. Positions des bagues de débit sur une pompe d'injection DPS *(Doc. VAG)*

Dysfonctionnements

- **Décélérations, ralenti instable, réglage difficile du débit résiduel.**
- **Fumées blanches, ratés, suite à l'usure des cames.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La pompe DPS comporte des possibilités de variations ou corrections de débits (pression turbo, vitesse, correcteur hydraulique, surcharge automatique, etc.) permettant une adaptation aisée sur les moteurs diesels.
- La latitude de réglage des débits est limitée à cause des « bagues de réglages ».

4.3 Débit de pleine charge

Dès le démarrage du moteur, le déplacement du levier de commande vers l'accélérateur **(fig. 43.3)** éloigne le levier de démarrage (1) de la languette (4). La plaque mobile revient en appui sur la butée de pleine charge (5), ainsi que les bagues de débit (3). Les galets roulent alors sur les bagues (3) (aux extrémités), limitant ainsi la course des *pistons plongeurs* **(fig. 43.5 et 43.7)**.

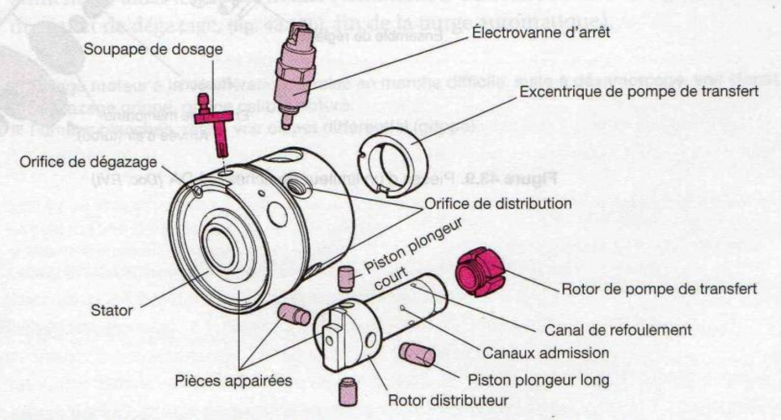


Figure 43.7. Tête hydraulique DPS. Les pistons plongeurs « courts » se montent dans l'axe du tenon du rotor, le petit diamètre toujours dirigé vers l'axe du rotor *(Doc. RVI)*

4.4 Limiteur de richesse

Un dispositif **(fig. 43.8 et 43.9)** est prévu pour corriger le *débit* de pleine charge en fonction de la *pression de suralimentation* (moteurs turbo).

Ce sous-ensemble est fixé en lieu et place de la butée de *débit* **(fig. 43.8)**, et permet l'adaptation du débit de pleine charge à la *pression de suralimentation* (déplacement des bagues de débit, **fig. 43.8**).

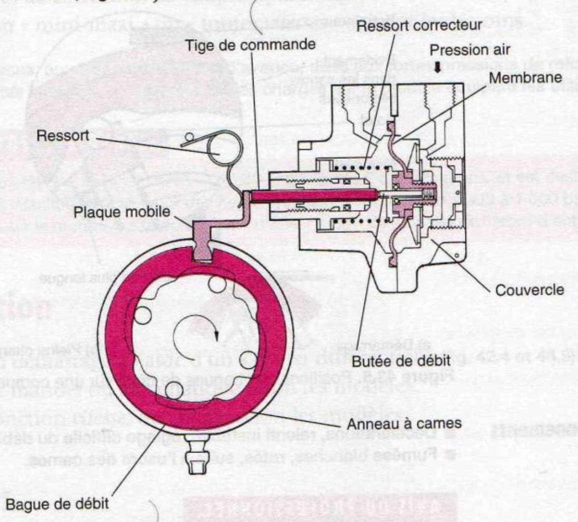


Figure 43.8. Limiteur de richesse (position débit minimal) *(Doc. RVI)*

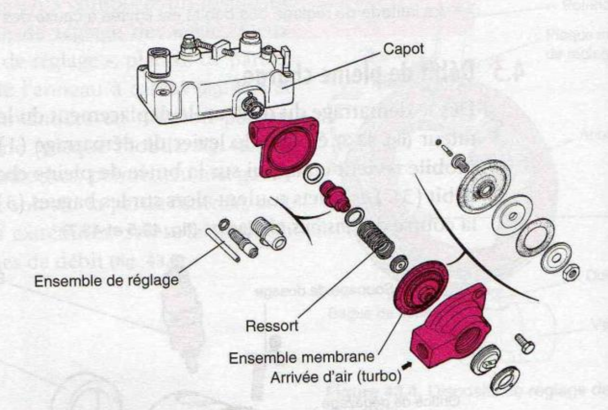


Figure 43.9. Pièces d'un limiteur de richesse LDA *(Doc. RVI)*

5 Purge automatique

Un *clapet* de dégazage, fixé sur le côté du *carter* (fig. 43.10) permet l'élimination de l'air du rotor, vers le *carter de pompe*. Au démarrage, le clapet différentiel est fermé, le piston du clapet de dégazage est en position ouvert (fig. 43.10a). Les canaux d'admission du rotor et le canal de dosage sont en communication alternativement à travers un orifice calibré avec la pression de *carter*. L'air se trouve ainsi expulsé, permettant le démarrage.

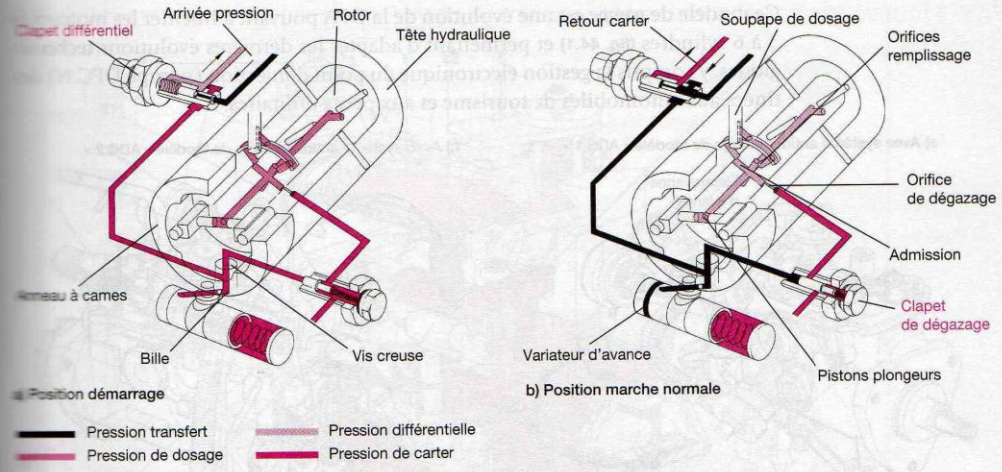


Figure 43.10. Circuit hydraulique DPS, valve différentielle et clapet de dégazage du rotor

6 Clapet différentiel

Cette soupape assure le fonctionnement du *clapet* de dégazage (fig. 43.10) et la commande de l'*avance automatique*.

Au démarrage, la soupape est fermée (fig. 43.10a), la purge automatique fonctionne, l'avance n'est pas alimentée (position « retard maximal »).

Dès le démarrage, la *pression* de transfert ouvre la *soupape* différentielle (fig. 43.10b), alimentant ainsi les deux circuits (élimination du retard au démarrage, fermeture du clapet de dégazage, (fig. 43.10b), fin de la purge automatique).

Dysfonctionnements

- **Calage moteur à la décélération, remise en marche difficile, suite à désamorçage, voir clapet de dégazage grippé, orifice calibré obturé.**
- **Fumées blanches, ratés, voir clapet différentiel (grippé).**

Pompe Delphi-Diesel (ex Lucas Diesel) type DPC, DPC.N

1 Généralités

Ce modèle de *pompe* est une évolution de la DPA pouvant alimenter les moteurs de 3 à 6 cylindres **(fig. 44.1)** et permettant d'adapter les dernières évolutions technologiques, y compris la gestion électronique du point d'injection (pompe DPC.N) destinées aux automobiles de tourisme et aux petits utilitaires.

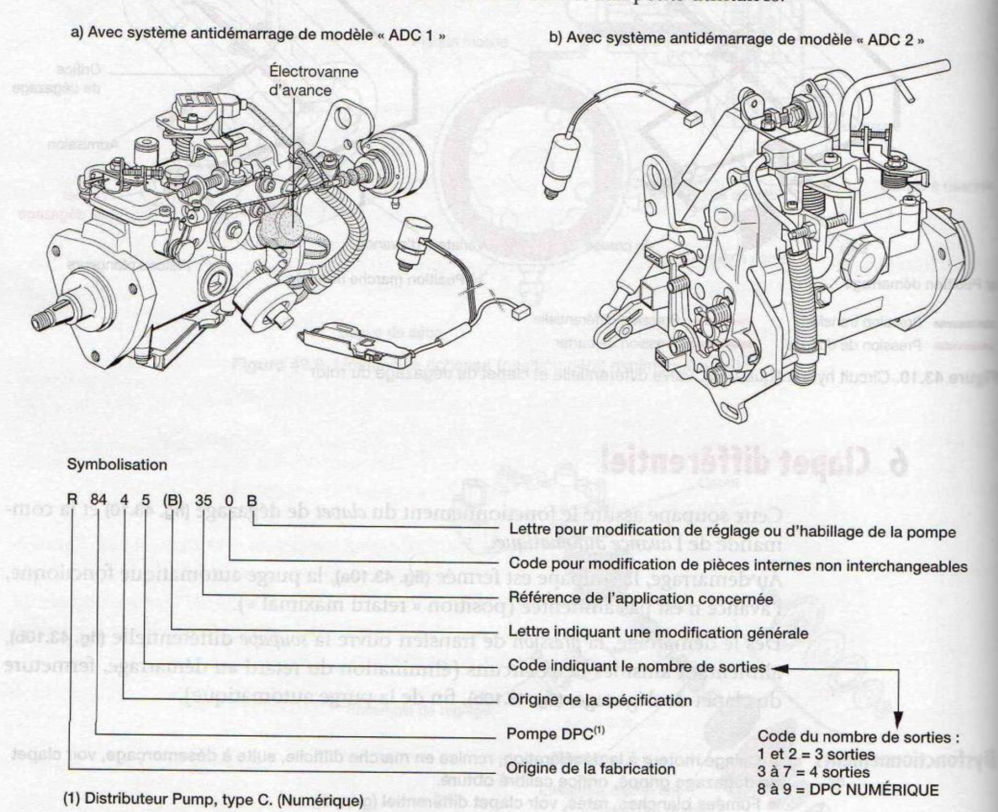


Figure 44.1. Pompes Delphi-Diesel types « DPC.N »

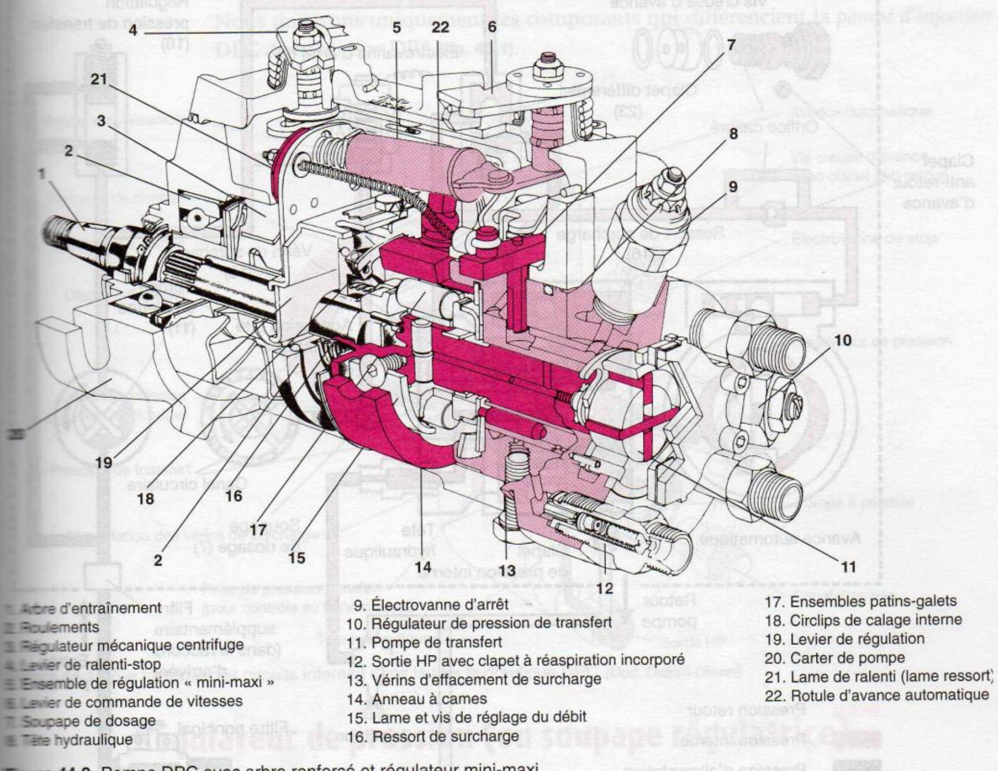
2 Caractéristiques

La pompe DPC **(fig. 44.2)** présente plusieurs caractéristiques :

- *Régulateur mécanique centrifuge* toutes *vitesses* ou mini-maxi (5).
- Dispositif de surcharge automatique (13) permettant un meilleur démarrage à froid.
- Arbre renforcé (1) par *roulements* (2) dans les cas d'entraînement par *courroie crantée* **(fig. 44.4)**.
- *Avance* automatique placée à la partie supérieure du carter avec plusieurs possibilités :

• retard au démarrage ;
• avance combinée charge-vitesse, ou pilotage électronique (DPC.N 8448) ;
• avance combinée charge-vitesse ;
• surcaleur manuel, automatique, mécanique ou électrique.

– Réglage du *débit* par lame ressort (15) (plus précis), avec dispositif permettant la variation en fonction de la *pression de suralimentation*.
– Diverses autres réalisations : dégazage, butée anti-calage, *électrovanne* d'arrêt (9), mode de fixation par brides à deux ou trois trous, potentiomètre de charge, *contacteur* de postchauffage, anti-démarrage, etc.



1. Arbre d'entraînement
2. Roulements
3. Régulateur mécanique centrifuge
4. Levier de ralenti-stop
5. Ensemble de régulation « mini-maxi »
6. Levier de commande de vitesses
7. Soupape de dosage
8. Tête hydraulique
9. Électrovanne d'arrêt
10. Régulateur de pression de transfert
11. Pompe de transfert
12. Sortie HP avec clapet à réaspiration incorporé
13. Vérins d'effacement de surcharge
14. Anneau à cames
15. Lame et vis de réglage du débit
16. Ressort de surcharge
17. Ensembles patins-galets
18. Circlips de calage interne
19. Levier de régulation
20. Carter de pompe
21. Lame de ralenti (lame ressort)
22. Rotule d'avance automatique

Figure 44.2. Pompe DPC avec arbre renforcé et régulateur mini-maxi

AVIS DU PROFESSIONNEL

• Cette pompe a beaucoup évolué depuis sa création, et s'est révélée très fiable, les seules faiblesses se trouvant au niveau des roulements, et des fuites externes (stop électrique et axe de commande).

Dysfonctionnements

■ **Fuite au joint spy d'arbre d'entraînement, due à la poussière de courroie de distribution, la mise en place d'une protection a résolu le problème.**
■ **Manque d'accélération, ou de puissance, suite à l'obstruction du clapet de retour, par des limailles, ou autres impuretés provenant d'une usure interne.**

3 Circuit interne de carburant

Le combustible venant du *filtre* **(fig. 44.2, 44.3, 44.4 et 45.1)** est aspiré par la pompe à palettes (11) et mis en pression par celle-ci (pression de transfert). Cette pression est alors dirigée dans diverses directions :

– Vers le clapet différentiel (23) **(fig. 44.3)**. Il permet ou non le passage vers les vérins de surcharge (13) **(fig. 44.2)** et l'*avance automatique* en fonction de la *vitesse*.
– Vers le régulateur de pression de transfert (10). Il maintient la pression dans les limites fixées suivant la vitesse de rotation.
– Vers l'électrovanne de stop (9). Dès la mise sous tension (clé de contact), elle permet le passage vers la soupape de dosage (7), permettant à la *pompe d'injection* de débiter.
– Vers la commande d'avance « faible charge ».

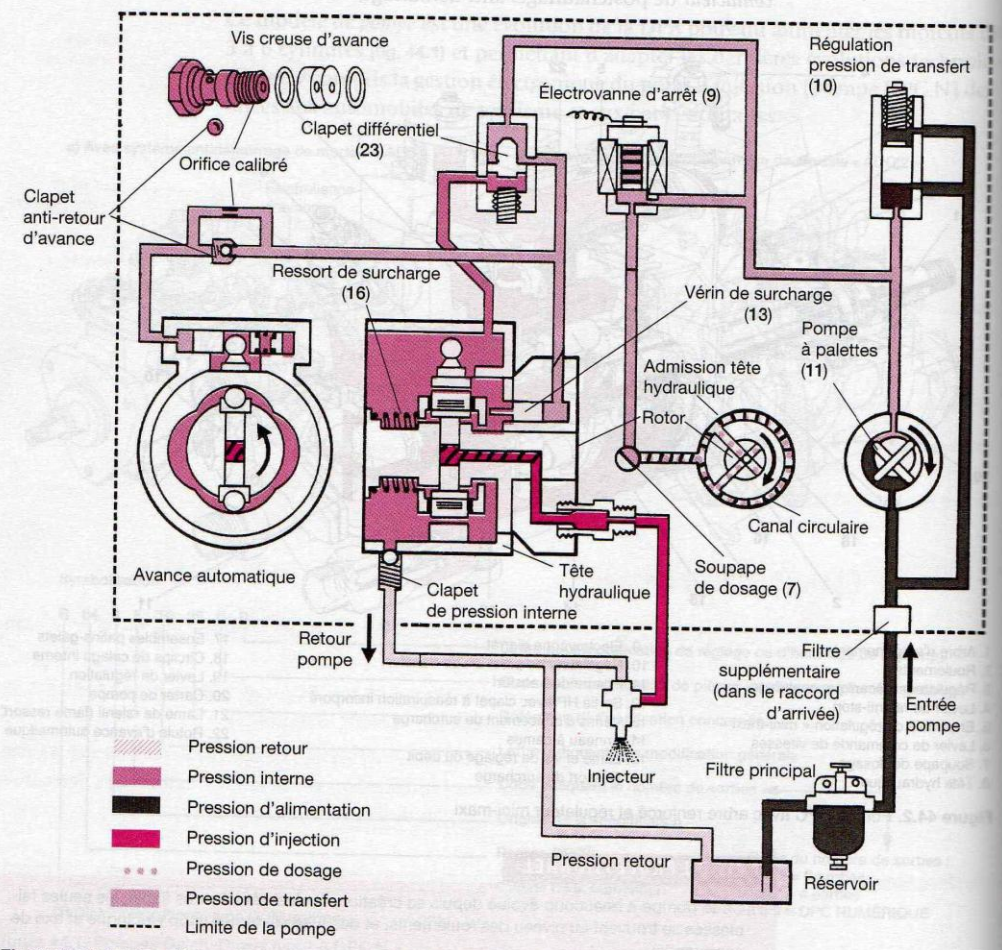


Figure 44.3. Schéma d'alimentation d'une pompe Delphi-Diesel, type DPC de base

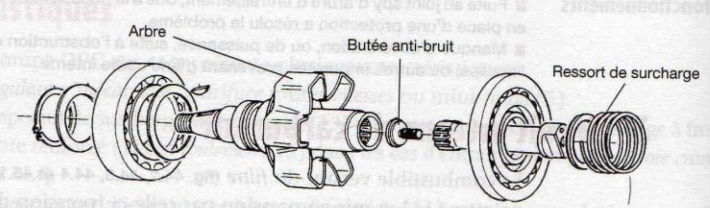


Figure 44.4. Entraînement DPC (modèle avec roulements)

Fonctionnement des pompes DPC

1 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du système de pompage est identique à celui de la pompe DPA. Nous traiterons uniquement les composants qui différencient la *pompe d'injection* DPC de la pompe DPA **(fig. 45.1)**.

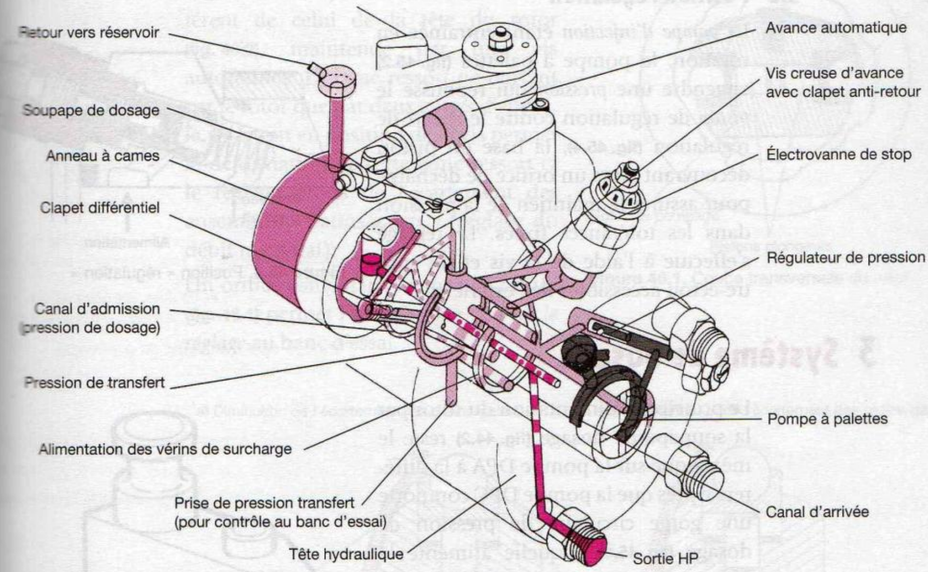


Figure 45.1. Vue fantôme des circuits internes dans la tête hydraulique DPC *(Doc. Delphi-Diesel)*

2 Régulateur de pression (ou soupape régulatrice)

Le fonctionnement est identique à celui de la pompe DPA, mais la conception est différente, facilitant le réglage et permettant une meilleure précision **(fig. 45.1 à 45.4)**.

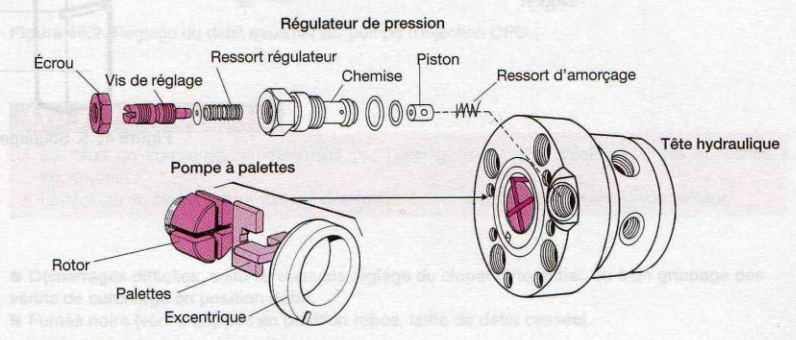


Figure 45.2. Régulateur de pression

2.1 Position amorçage

La position d'amorçage (fig. 45.3) permet au combustible de parvenir à l'intérieur de la tête hydraulique, la pompe étant à l'arrêt. À l'aide du dispositif d'amorçage extérieur, le combustible pousse le *piston* de régulation qui comprime le *ressort* d'amorçage, et les orifices usinés dans le piston permettent ainsi le passage du carburant vers la tête hydraulique (purge).

Figure 45.3. Position « amorçage »

2.2 Position régulation

La *pompe d'injection* étant entraînée en rotation, la pompe à palettes (fig. 45.2) engendre une *pression* qui repousse le *piston* de régulation contre le *ressort* de régulation (fig. 45.4), la base du piston découvrant alors un orifice de décharge pour assurer le maintien de la pression dans les tolérances fixées. Le réglage s'effectue à l'aide de la vis et du contre-écrou accessibles de l'extérieur.

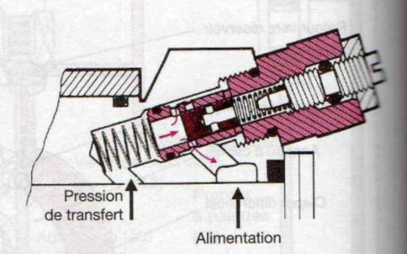


Figure 45.4. Position « régulation »

3 Système de dosage

Le principe d'alimentation du rotor par la soupape de dosage (fig. 44.2) reste le même que sur la pompe DPA à la différence près que la pompe DPC comporte une gorge circulaire de pression de dosage (fig. 45.1), laquelle alimente le rotor par deux canaux (meilleur remplissage à haut régime).

Dans certaines exécutions, un méplat est usiné sur le fût de la soupape de dosage (fig. 45.5), permettant l'évacuation des bulles d'air dans le carter (dégazage).

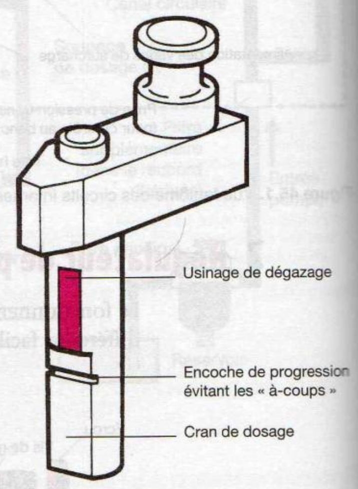


Figure 45.5. Soupape de dosage

Réglage du débit maximal de pleine charge

1 Description du système

Le système de limitation de l'écartement des ensembles « patins-galets » **(fig. 46.1)** comprend une lame ressort en acier dont le rayon de courbure est différent de celui de la tête du rotor **(fig. 46.2)**, maintenue par une vis autofreinée. La lame ressort ne portant sur le rotor que par deux zones d'appui, la variation en position de la vis permet la déformation de cette lame ressort et le réglage précis de l'écartement des ensembles « patins-galets » (réglage du débit maximal).

Un orifice usiné dans l'anneau à cames **(fig. 46.1)** permet l'accès à cette *vis pour le réglage* au banc d'essai.

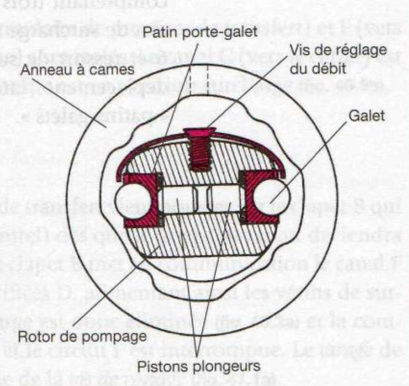


Figure 46.1. Coupe transversale du rotor

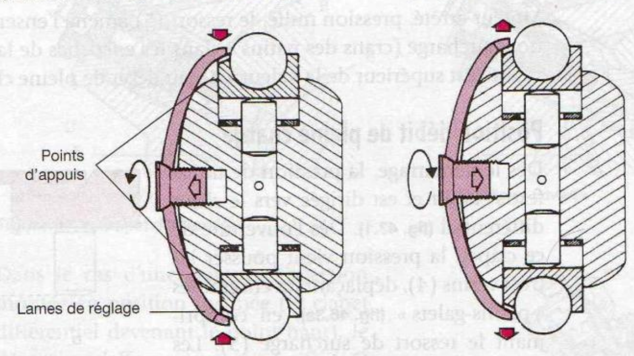


Figure 46.2. Réglage du débit maximal sur pompe d'injection DPC

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le débit de surcharge est déterminé par l'usinage des patins (profondeur des encoches, **fig. 46.4a**).
- Le réglage du clapet différentiel est déterminant pour la phase de démarrage du moteur.

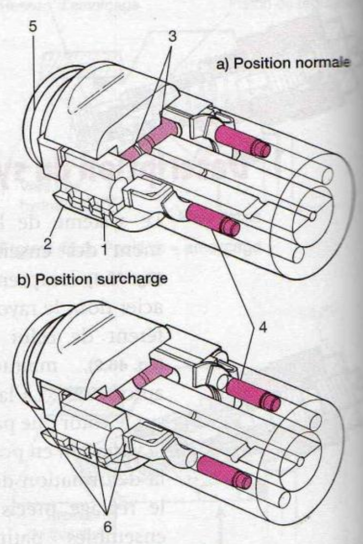
Dysfonctionnements

- Démarrages difficiles, suite au mauvais réglage du clapet différentiel, ou à un grippage des vérins de surcharge en position débit.
- Fumée noire (vérins grippés en position repos, lame de débit cassée).

2 Surcharge

La lame ressort (2) comporte des encoches obliques (excepté pour pompe à correcteur de suralimentation) et les patins porte-galets (1) des crans complémentaires sur un côté **(fig. 46.3 et 46.4)**.

Un ensemble de poussée **(fig. 46.3a)** comprenant trois vérins (4) et un chariot de surcharge (ensemble de guidage 6 et ressort de surcharge 5) permet le déplacement latéral des ensembles « patins-galets ».



a) Les crans des patins porte-galets (1) et ceux de la lame de réglage (2) sont en regard. La course des pistons (3) est minimale.
b) Les crans (1) et (2) sont emboîtés, la course des pistons est maximale ; c'est la position « surcharge ».

Figure 46.3. Dispositif de surcharge

2.1 Position démarrage

Moteur arrêté, pression nulle, le ressort (5) amène l'ensemble chariot (6) en position surcharge (crans des patins 1 dans les encoches de la lame ressort 2). Le *débit* injecté est supérieur de la valeur « a » au débit de pleine charge **(fig. 46.3b et 46.4b)**.

2.2 Position débit de pleine charge

Dès le démarrage, la pression de transfert s'établit et est dirigée vers le *clapet* différentiel **(fig. 47.1)**. Dès l'ouverture de ce clapet, la pression vient pousser les trois vérins (4), déplaçant les ensembles « patins-galets » **(fig. 46.3a)**, en comprimant le ressort de surcharge (5). Les crans des patins (1) viennent alors sous la lame ressort (2) et le débit injecté est celui réglé par la vis **(fig. 46.2)** (débit de pleine charge) **(fig. 46.4)**.

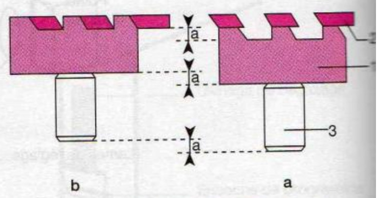


Figure 46.4. Disposition des patins et des encoches

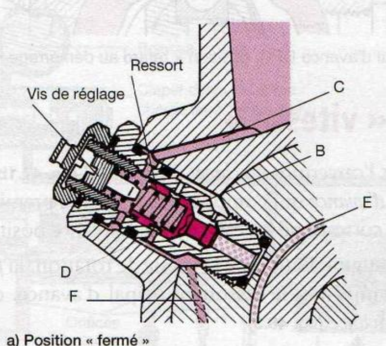
Clapet différentiel

1 Position « fermé »

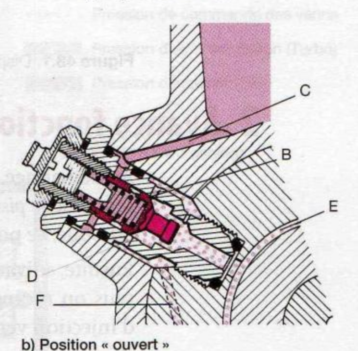
À l'arrêt **(fig. 47.1a)**, les circuits E (gorge annulaire de pression de transfert) et F (vers vérins de surcharge et *avance* automatique) sont isolés. Le canal C (vers le carter) est en communication avec le canal F. La pompe est en position surcharge **(fig. 46.3b)**.

2 Position « ouvert »

Après le démarrage **(fig. 47.1b)**, la *pression* de transfert vient pousser sur le clapet B qui va s'ouvrir instantanément (effet différentiel) dès que le *tarage* du *ressort* deviendra inférieur à la *pression*. Le soulèvement du clapet B met en communication le canal F avec la pression de transfert E, par les orifices D, alimentant ainsi les vérins de surcharge et l'*avance automatique*. La surcharge est donc éliminée **(fig. 46.3a)** et la communication entre l'intérieur du carter C et le circuit F est interrompue. Le *tarage* de ce *clapet* s'effectue au banc d'essai à l'aide de la *vis de réglage* **(fig. 47.1a)**.



a) Position « fermé »



b) Position « ouvert »

Figure 47.1. Clapet différentiel

Dans le cas d'une pompe d'injection montée en position inclinée (le clapet différentiel devenant le point haut), le dégazage s'effectue par un orifice O **(fig. 47.2)** usiné dans le clapet B.

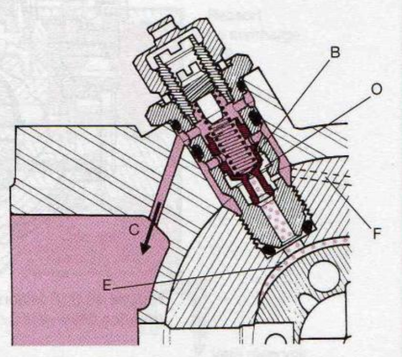


Figure 47.2. Clapet différentiel avec orifice de dégazage (O)

Avance automatique

1 Retard au démarrage

À l'arrêt, le *clapet* différentiel **(fig. 47.1a)** est fermé, aucune pression n'agit sur le *piston* principal, le *ressort* de premier temps déplace l'anneau à cames par l'intermédiaire de la rotule d'*avance* vers la position « début d'injection retardée » (course « X ») **(fig. 48.1)**.

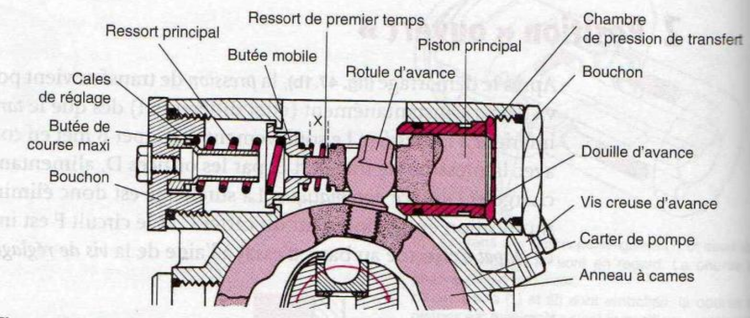


Figure 48.1. Dispositif d'avance DPC, position « retard au démarrage »

2 Avance fonction « vitesse »

Au démarrage, dès l'ouverture du *clapet* différentiel **(fig. 47.1b)**, la pression de transfert repousse le *piston d'avance* qui comprime le *ressort* de premier temps. La course « X » est nulle, ce point correspond au calage initial (avance position « 0 » : zéro) **(fig. 48.2)**.

Ensuite, suivant l'augmentation de la *vitesse* de rotation, la *pression* de transfert vient plus ou moins comprimer le ressort principal d'avance, déplaçant ainsi le début d'injection vers l'*avance* **(fig. 48.3)**.

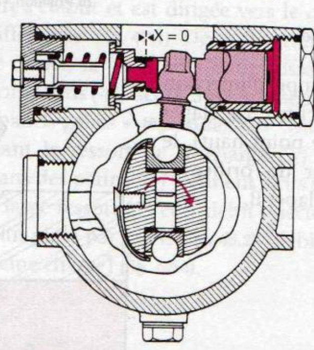


Figure 48.2. Position « retard éliminé » (avance 0°)

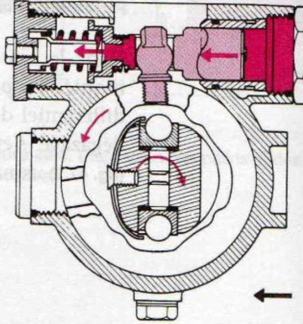


Figure 48.3. Position avance « vitesse »

Dysfonctionnements

- **Fumée blanche, ratés, manque d'avance suite à un grippage du clapet différentiel, une pression de transfert trop basse, ou un manque de serrage de la rotule d'avance.**
- **Claquement moteur, fumée noire (trop d'avance, par un ressort cassé, ou le piston grippé en pleine avance).**

[Di]spositif d'avance « faible charge »

1 Fonctionnement

Le système employé (fig. 49.1) est différent de celui de la pompe DPA et la commande s'effectue de l'extérieur de la *pompe*, par une biellette de liaison réglable (fig. 49.7) entre le levier de charge (*régulateur* mini-maxi) et le boisseau rotatif du clapet d'avance « faible charge » (fig. 49.3 à 49.6) ou à l'aide d'un « boîtier électronique », le clapet d'AFC est alors électrique (fig. 49.8).

Ce dispositif permet, lorsque le moteur est en faible charge, d'optimiser le point d'injection afin de le maintenir toujours dans les tolérances du constructeur (fiche 40).

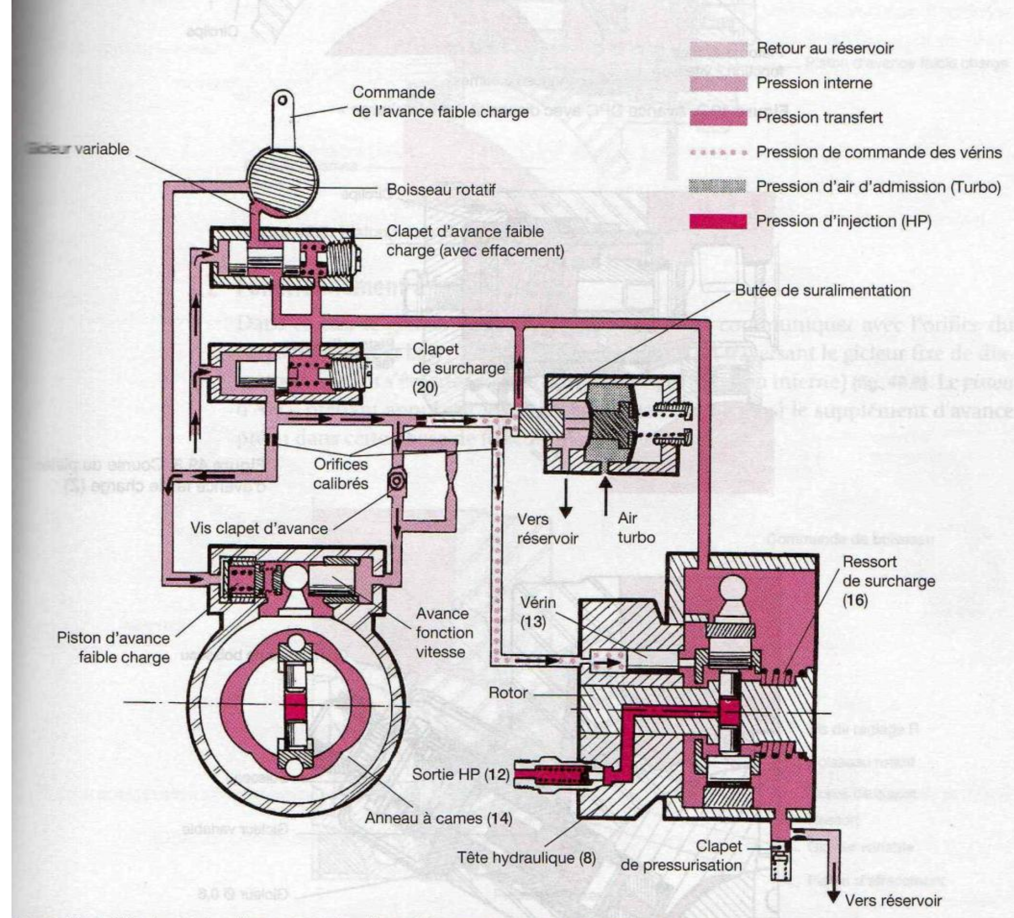


Figure 49.1. Principe de fonctionnement des dispositifs : avance « faible charge » et butée de suralimentation

À l'opposé du *piston* d'avance fonction « *vitesse* » (d), un autre *piston* d'un diamètre supérieur (D) comportant le ressort d'avance vitesse et le dispositif de retard au démarrage **(fig. 49.2)**, limité dans sa course par un circlips, est en liaison, sur sa partie arrière, avec un *clapet* d'avance « faible charge » **(fig. 49.4)** appelé clapet AFC. Celui-ci, en fonction de la position du levier d'accélération, permet la communication de l'arrière du piston d'AFC, soit avec la pression de transfert **(fig. 49.3)**, soit avec la pression interne du *carter* **(fig. 49.5)**, modifiant ainsi le début d'injection de la valeur déterminée par la course « Z » **(fig. 49.3)**.

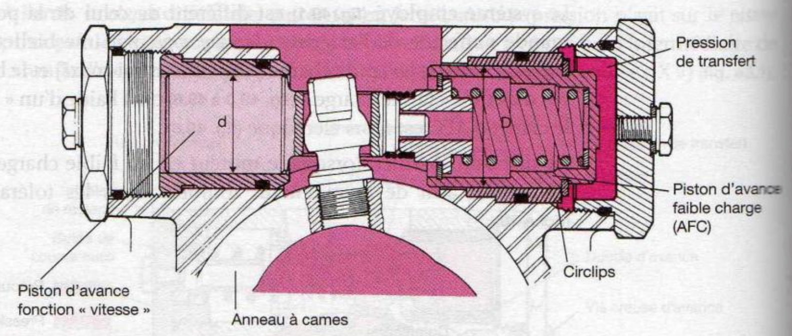


Figure 49.2. Avance DPC avec dispositif « faible charge »

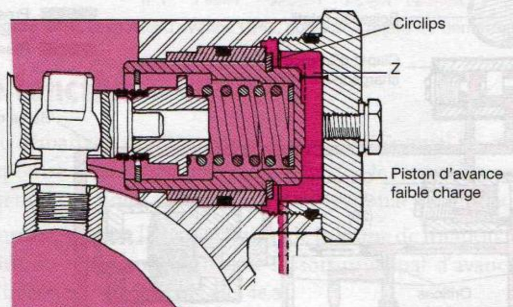


Figure 49.3. Course du piston d'avance faible charge (Z)

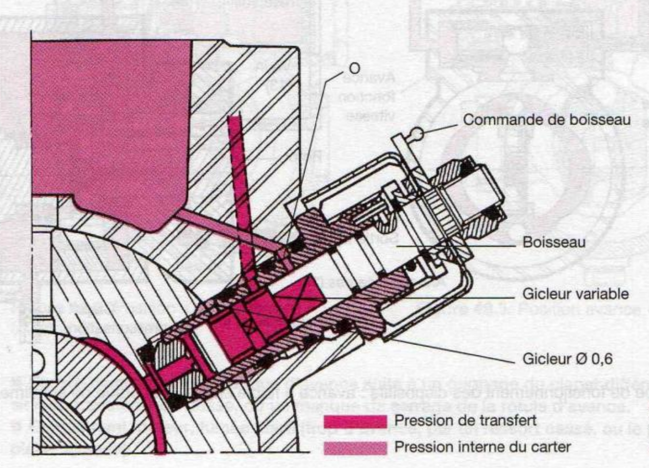


Figure 49.4. Clapet d'AFC sans effacement

2 Clapet d'avance « faible charge » à boisseau

Ce *clapet* **(fig. 49.4 à 49.7)**, commandé de l'extérieur par le levier de charge, détermine le fonctionnement du *piston* d'avance « faible charge » **(fig. 49.7)**.

2.1 Fonctionnement à pleine charge

Le levier de charge déplace le boisseau en rotation, obturant l'orifice O et permettant à la pression de transfert de s'établir derrière le piston d'AFC. Le diamètre de ce piston étant supérieur à celui du *piston d'avance* « vitesse » **(fig. 49.2, d et D)**, la résultante des forces repousse le *piston d'AFC* vers la butée sur son circlips. Ceci correspond à la position « point d'injection pleine charge » (point zéro du piston d'AFC). Seule l'avance fonction « vitesse » agit **(fig. 49.2 à 49.3)**.

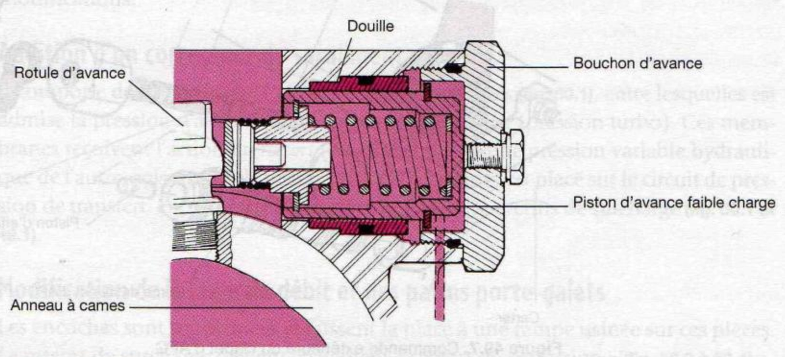


Figure 49.5. Piston faible charge en position avance faible charge

2.2 Fonctionnement à faible charge

Dans ce cas, le gicleur variable du boisseau vient communiquer avec l'orifice du corps du clapet et la *pression* de transfert, chutant en traversant le gicleur fixe de diamètre 0,6, vient s'évacuer dans le *carter de pompe* (pression interne) **(fig. 49.6)**. Le *piston* d'AFC, prenant appui sur le *bouchon d'avance*, donne ainsi le supplément d'avance prévu dans cette phase de fonctionnement **(fig. 49.5)**.

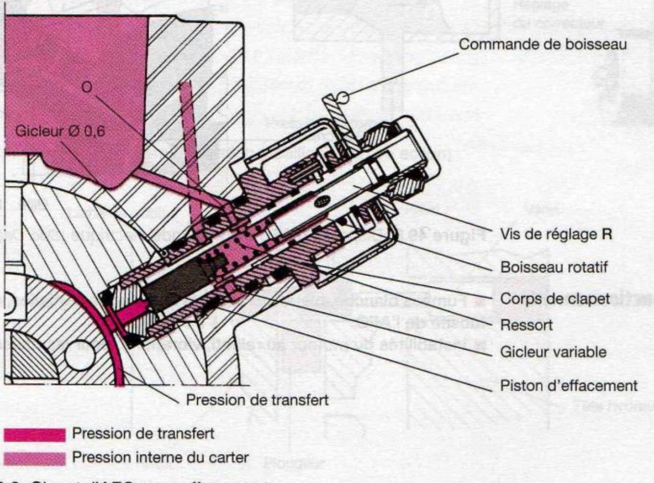


Figure 49.6. Clapet d'AFC avec effacement

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Deux variantes de *clapets* sont prévues :
  - sans effacement : le dispositif d'AFC fonctionne quelle que soit la vitesse de rotation du moteur **(fig. 49.4)** ;
  - avec effacement : élimination du dispositif d'AFC dès le soulèvement du piston (obturation de l'orifice de gicleur variable dans le boisseau rotatif) « d'effacement » par la *pression de* transfert. Réglage à l'aide de la vis « R » **(fig. 49.6)**.

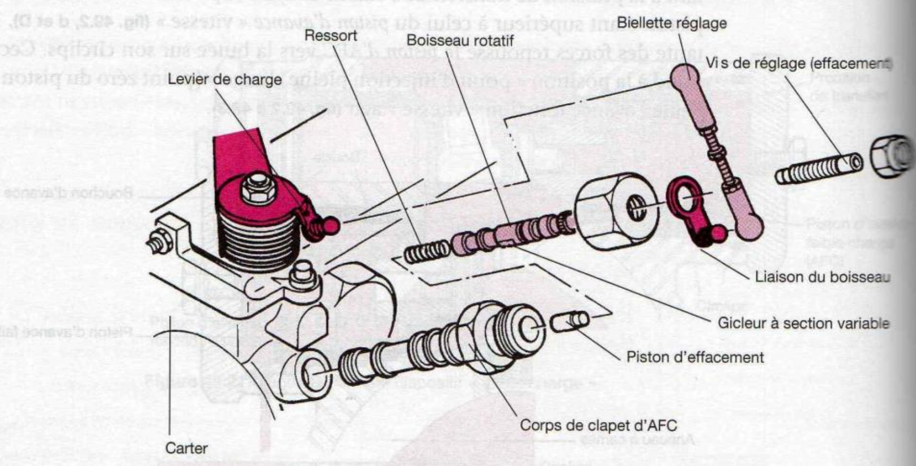


Figure 49.7. Commande extérieure du clapet d'AFC

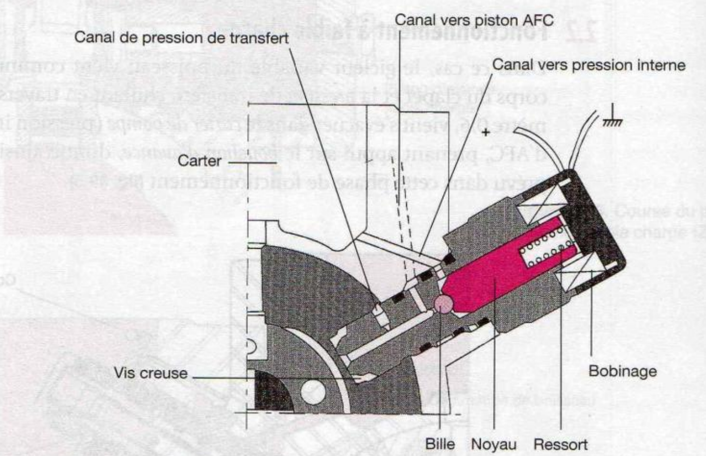


Figure 49.8. Dispositif d'AFC à commande électrique *(Doc. Delphi-Diesel)*

Dysfonctionnements

- **Fumées blanche, bleue au ralenti et en charges partielles, suite à un mauvais réglage ou défectuosité de l'AFC.**
- **Instabilités du moteur au ralenti, vibrations, pour les causes identiques (AFC).**

Dispositif correcteur de suralimentation

1 Modifications – Équipements

Dans les applications sur moteur équipé de *turbocompresseur*, le *débit* maximal de la *pompe d'injection* doit être ajusté en fonction de la *pression* régnant dans le collecteur d'admission. La *pompe DPC* est adaptée à cette exigence et comporte quelques modifications.

1.1 Addition d'un correcteur de suralimentation

Il comporte deux *membranes* (11) de sections différentes (fig. 50.1), entre lesquelles est admise la pression d'air venant du *collecteur d'admission* (pression turbo). Ces membranes reçoivent l'action du *ressort* (12) d'un côté, et une pression variable hydraulique de l'autre, agissant sur le piston (10). Ce correcteur est placé sur le circuit de pression de transfert, entre le *clapet* de surcharge (20) et les vérins de surcharge (fig. 50.1 et 49.1).

1.2 Modification de la lame de débit et des patins porte-galets

Les encoches sont supprimées et laissent la place à une rampe usinée sur ces pièces. Le ressort de surcharge devient également « ressort de correction » (fig. 50.2 à 50.4).

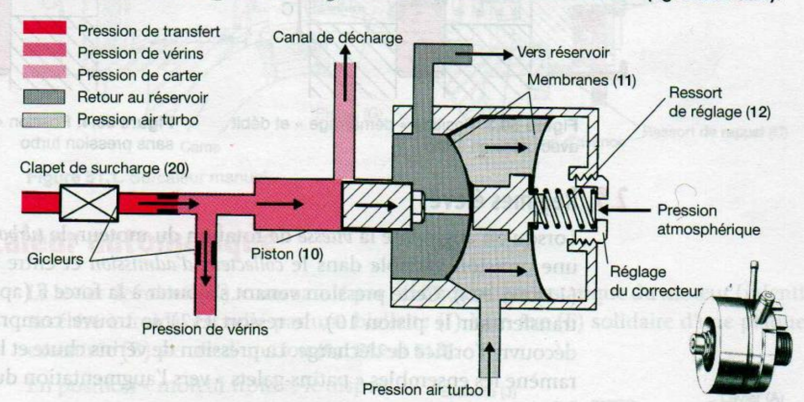


Figure 50.1. Correcteur de suralimentation (position turbo en action)

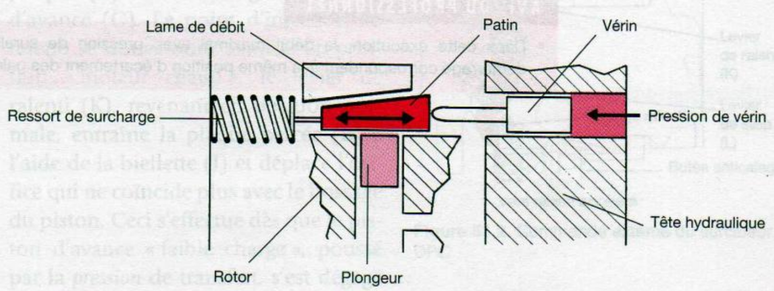


Figure 50.2. Principe de commande du système de surcharge

Dysfonctionnements

- Emballement du moteur à chaud, fumée noire (la membrane du correcteur de suralimentation est percée ; du carburant a été aspiré dans la pipe d'admission).
- Manque de puissance, suite au mauvais réglage du correcteur, ou de la membrane percée.

2 Fonctionnement

2.1 Démarrage

Le *clapet* de surcharge (20) est fermé (fig. 50.1). Aucune *pression* n'arrive derrière les vérins de surcharge, le correcteur de *suralimentation* n'a aucune action et le *ressort* de surcharge repousse les ensembles « patins-galets » vers le débit de démarrage (fig. 50.3).

2.2 Régime faible (pression turbo = 0)

Le moteur étant démarré, le clapet de surcharge ouvert (fig. 46.4), la pression de transfert est dirigée vers les vérins de surcharge à travers les gicleurs (fig. 50.1). Le correcteur de suralimentation reste en position « repos » (pression sur piston 10 < tarage du ressort 12 et sans pression turbo).

La pleine pression de transfert repousse les vérins de surcharge en comprimant le ressort de surcharge. Le *débit maximal* de la pompe correspond au réglage initial au banc d'essai (lame ressort) sans suralimentation (fig. 50.4).

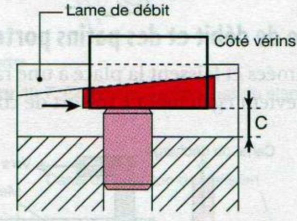


Figure 50.3. Position « démarrage » et débit avec pression turbo

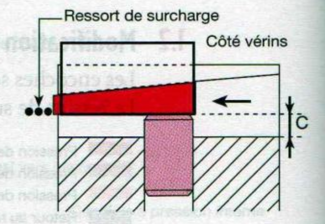


Figure 50.4. Position « débit pleine charge » sans pression turbo

2.3 Régimes élevés

Lorsqu'on augmente la *vitesse* de rotation du moteur, le *turbocompresseur* engendre une pression variable dans le *collecteur d'admission* et entre les deux membranes (11) (fig. 50.1). Cette pression venant s'ajouter à la force F (appui de la pression de transfert sur le piston 10), le ressort (12) se trouve comprimé et le *piston* (10) découvre l'orifice de décharge. La pression de vérins chute et le ressort de surcharge ramène les ensembles « patins-galets » vers l'augmentation du débit maximal.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Dans cette exécution, le débit maximal avec pression de suralimentation et le débit de démarrage correspondent à la même position d'écartement des galets.

Dispositifs de surcalage

1 Surcaleur manuel

Incorporé du côté *ressort* au dispositif d'*avance* classique, le dispositif **(fig. 51.1)** comporte trois billes (D) logées dans des évidements du levier (A) et la plaque (B) comporte trois bossages. En déplaçant le levier (A) à l'aide d'un câble, les billes vont, en montant sur les bossages, tirer l'axe coulissant (F) et comprimer ainsi le ressort d'avance (E). Le début d'injection se trouvera donc avancé. Dès que le ressort d'avance (E) sera comprimé par la rotule d'avance (augmentation de la *vitesse de rotation*), l'axe coulissant (F) se trouvera libéré et le ressort de rappel (C) ramènera le dispositif en position « repos ».

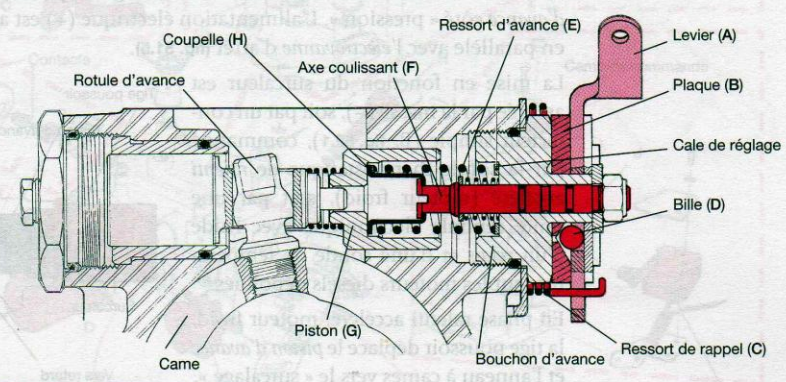


Figure 51.1. Surcaleur manuel

2 Surcaleur automatique

Le levier de *ralenti* (K), commandé par l'élément thermostatique du moteur (ralenti accéléré à froid), est relié par une biellette (J) à un axe (F) solidaire d'une plaque excentrée (B) percée d'un trou **(fig. 51.2 et 51.3)**.

En position « moteur froid », le dispositif amène en alignement l'orifice de la plaque (B) et le bossage du piston d'avance (G). Le point d'injection au ralenti se trouve donc avancé. En position « moteur chaud », le levier de ralenti (K), revenant en position normale, entraîne la plaque percée (B) à l'aide de la biellette (J) et déplace l'orifice qui ne coïncide plus avec le bossage du piston. Ceci s'effectue dès que le piston d'avance « faible charge », poussé par la *pression* de transfert, s'est dégagé de l'orifice de la plaque (B).

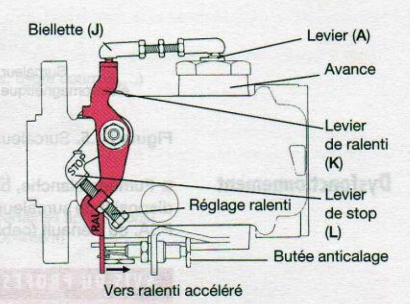


Figure 51.2. Commande externe du surcaleur DPC

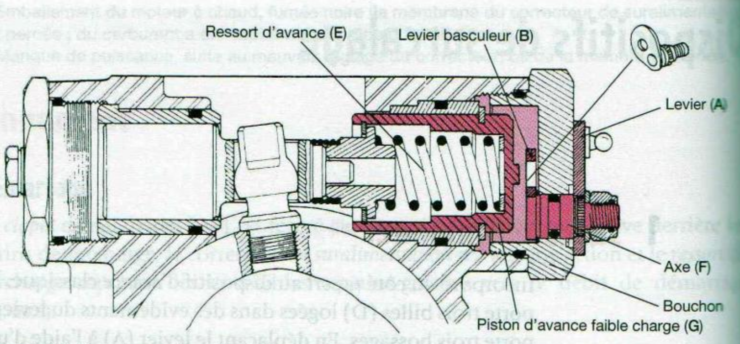


Figure 51.3. Surcaleur automatique incorporé au dispositif d'avance « faible charge »

3 Surcaleur électromagnétique

La **figure 51.4** montre l'emplacement du surcaleur.

Un électro-aimant dans lequel coulisse une tige de poussée, remplace le *bouchon d'avance* côté « pression ». L'alimentation électrique (+) est assurée par le + contact en parallèle avec l'*électrovanne* d'arrêt **(fig. 51.5)**.

La mise en fonction du surcaleur est assurée par la masse (–), soit par un contacteur simple (B, **fig. 52.1**), commandé par la sonde thermostatique de *ralenti* accéléré (moteur froid), soit par une unité centrale électronique avec l'aide d'un *relais* et d'une sonde de température sur les moteurs diesels dépollués.

En phase ralenti accéléré, moteur froid, la tige poussoir déplace le *piston d'avance* et l'anneau à cames vers le « surcalage ».

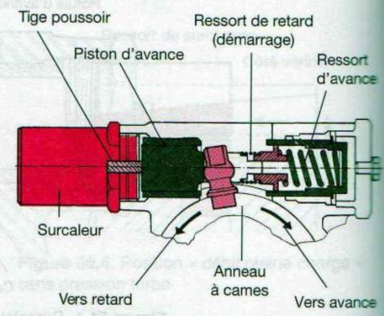


Figure 51.4. Surcaleur en position repos

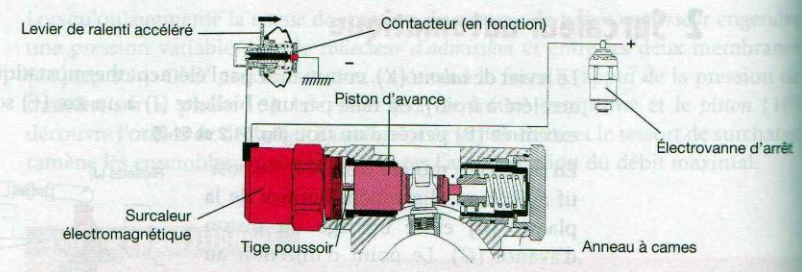


Figure 51.5. Surcaleur DPC (commande par contacteur)

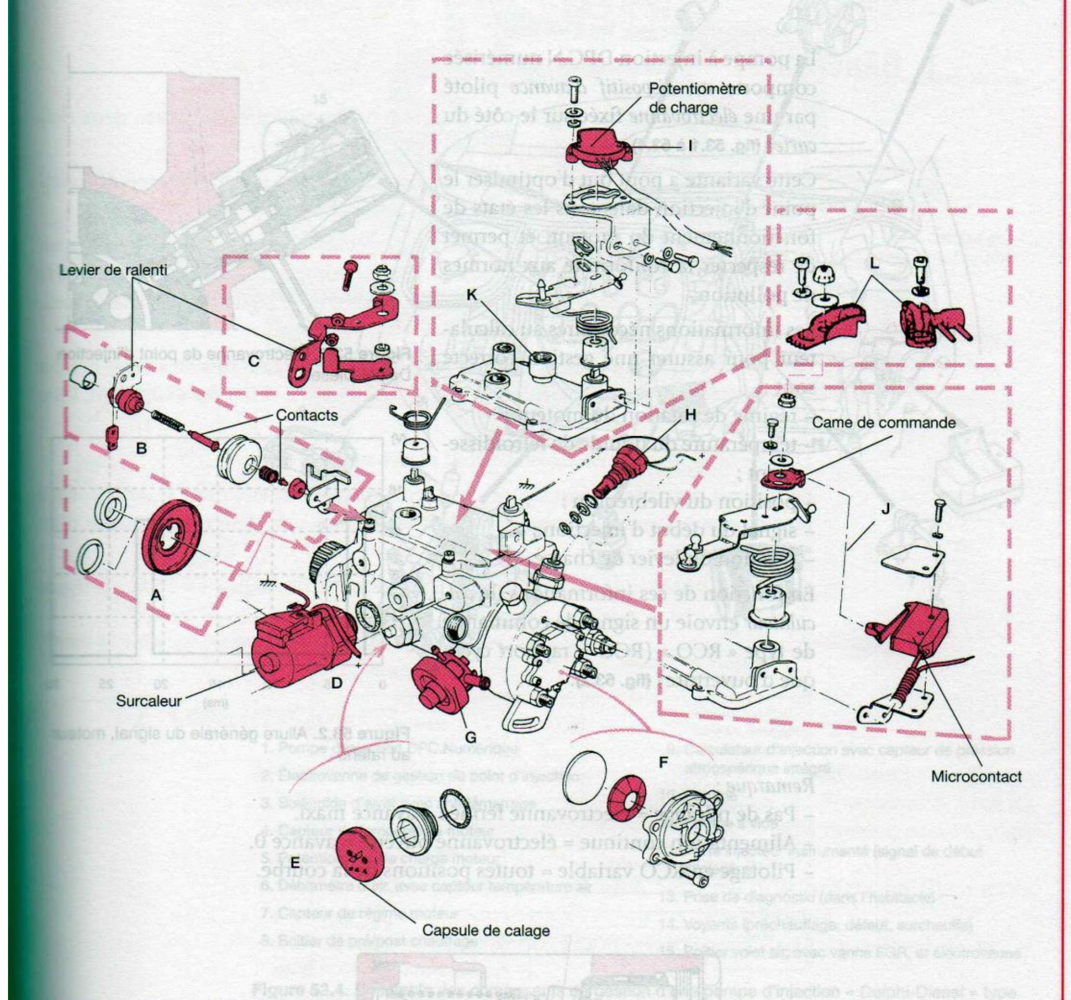
Dysfonctionnement

- **Fumées blanche, bleue à froid, mauvais démarrage, sont liés au mauvais fonctionnement du dispositif de surcaleur, au circuit électrique de commande, ou à la commande thermodilatable sur PSA, ou Renault (cable mal réglé, ou commande HS).**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La position « surcalage » n'est possible qu'avec la force résultante de l'action du surcaleur électromagnétique et de la pression de transfert derrière le piston d'avance (moteur tournant).
- Le surcaleur automatique ne peut être utilisé que sur les pompes DPC comportant une avance « faible charge ».

Évolutions DPC et accessoires pour moteurs diesels dépollués



A. Protection du joint d'arbre d'entraînement contre les agents abrasifs (poussières, usure courroie,...)
B. Contacteur de commande de surcaleur électrique
C. Levier double stop-ralenti (régulateur mini-maxi)
D. Surcaleur électrique
E. Pastille d'indication du calage sur version « modification B »
F. Évolution de la fermeture (étanchéité) sur la pompe à palettes (modification « B »)
G. Correcteur de débit en fonction de la pression de suralimentation
H. Clapet d'AFC à commande électrique sur versions dépolluées (surcaleur dans certaines applications)
I. Potentiomètre de détection de charge (commande du recyclage des gaz d'échappement)
J. Microcontact de charge, commande de « postchauffage »
K. Orifice de calage, sur pompe « modification B »
L. Tiroir distributeur (commande de la valve de recyclage des gaz d'échappement)

Figure 52.1. Pompe DPC (évolutions et accessoires, selon les besoins des constructeurs)

53

Pompe à injection DPC numérisée

La pompe à injection DPC.N numérisée comporte un *dispositif d'avance* piloté par une *électrovanne* fixée sur le côté du *carter* **(fig. 53.1 à 53.4)**.

Cette variante a pout but d'optimiser le point d'injection dans tous les états de fonctionnement du moteur, et permet de respecter la conformité aux normes de pollution.

Les informations nécessaires au calculateur pour assurer une gestion correcte sont :

- régime de rotation du moteur ;
- température du liquide de refroidissement ;
- position du vilebrequin ;
- signal du début d'injection ;
- position du levier de charge.

En fonction de ces informations, le *calculateur* envoie un signal de commande de type « RCO » (RCO = rapport cyclique d'ouverture) **(fig. 53.2)**.

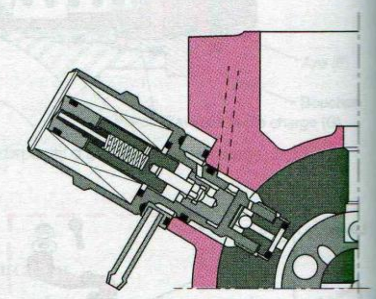


Figure 53.1. Électrovanne de point d'injection Delphi-Diesel

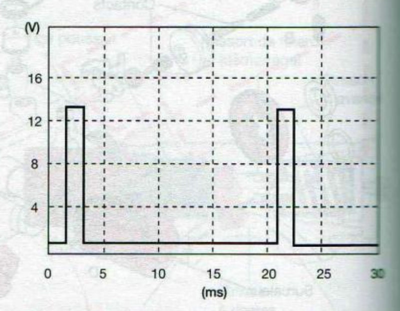


Figure 53.2. Allure générale du signal, moteur au ralenti

Remarque :

- Pas de pilotage = électrovanne fermée = avance maxi.
- Alimentation continue = électrovanne ouverte = avance 0.
- Pilotage en RCO variable = toutes positions de la courbe.

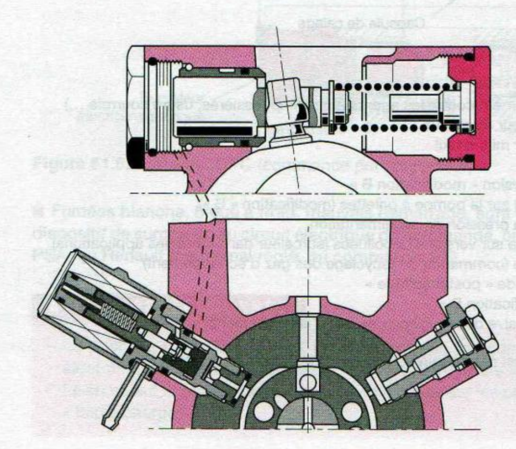
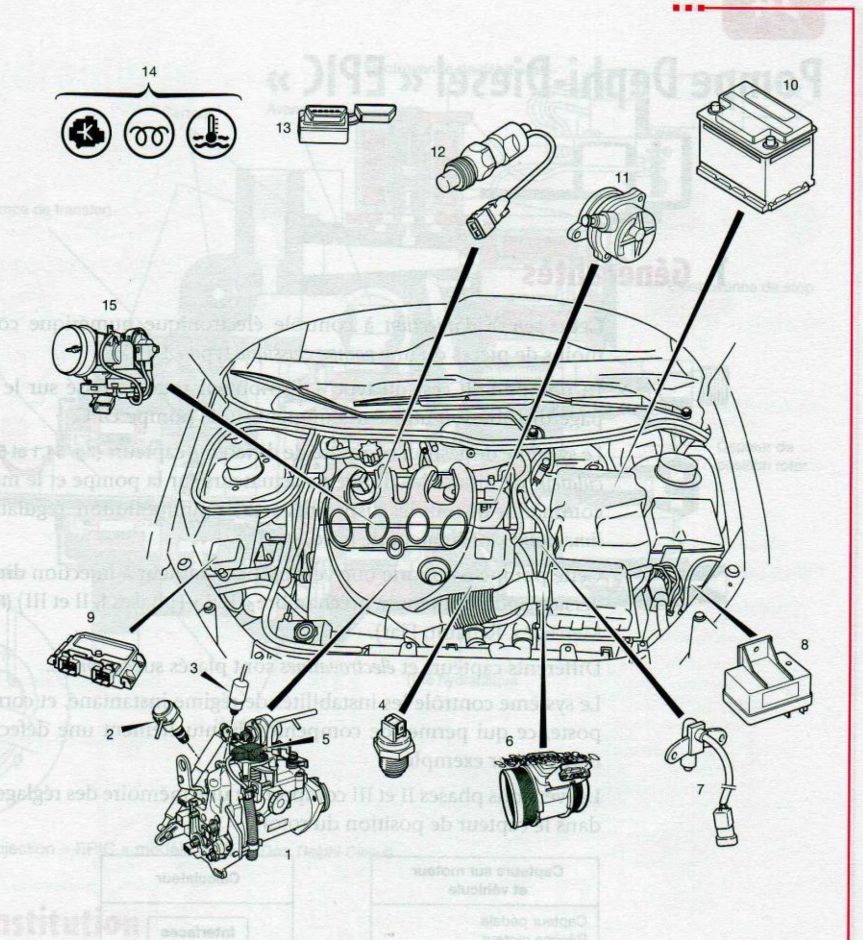


Figure 53.3. Circuit de commande de l'avance sur pompe DPC.N *(Doc. Delphi-Diesel)*



1. Pompe d'injection DPC.Numérique
2. Électrovanne de gestion du point d'injection
3. Solénoïde d'arrêt avec antidémarrage
4. Capteur de température moteur
5. Potentiomètre de charge moteur
6. Débitmètre d'air, avec capteur température air
7. Capteur de régime moteur
8. Boîtier de pré/post chauffage
9. Calculateur d'injection avec capteur de pression atmospérique intégré
10. Batterie
11. Pompe à vide
12. Porte injecteur instrumenté (signal de début d'injection)
13. Prise de diagnostic (dans l'habitacle)
14. Voyants (préchauffage, défaut, surchauffe)
15. Boîtier volet air, avec vanne EGR, et électrovanne

Figure 53.4. Ensemble des composants de gestion d'une pompe d'injection « Delphi-Diesel » type « DPC.N »

Dysfonctionnement

■ **Fumées blanches, noires, instabilités moteur, claquements intenses intermittents, voyant défaut allumé au tableau de bord, tous ces symptômes désignent l'électrovanne d'avance en défaut sur la version DPC numérisée.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les divers accessoires de dépollution devenant de plus en plus présents sur les pourtours des pompes d'injection, il était prévisible de faire appel à l'électronique pour gérer ces nombreux systèmes, et surtout améliorer leur fiabilité.
- La gestion électronique précise du point d'injection est souvent suffisante pour tenir les normes de pollution Euro III, d'où la version de la pompe « DPC numérisée » (DPC.N).

54 ...

Pompe Dephi-Diesel « EPIC »

1 Généralités

Cette *pompe d'injection* à contrôle électronique numérique comporte deux fois moins de pièces qu'une *pompe classique* type « DPC ».

La pompe EPIC est du type « distributeur rotatif » basé sur le principe de pompage/distribution utilisé notamment sur la pompe DPC.

Le système de gestion composé de différents capteurs **(fig. 54.1 et 54.2)**, permet au *calculateur* de piloter les différents actuateurs sur la pompe et le moteur, et permet la commande de tous les dispositifs actuels (antipollution, régulation de *vitesse, suralimentation*, ordinateur de bord, etc.).

Cette pompe comporte une version pour moteur à injection directe « DI », et trois versions pour moteurs à préchambre « IDI » (phases I, II et III) **(fig. 54.3)** (Ford, PSA, Mercédès, Renault, Fiat).

Différents capteurs et *électrovannes* sont placés sur la *pompe*.

Le système contrôle les instabilités de régime instantané, et corrige le *débit* poste à poste, ce qui permet de compenser éventuellement une défection partielle d'un *injecteur* par exemple.

Les versions phases II et III comportent une mémoire des réglages « OSM » intégrée dans le capteur de position du rotor.

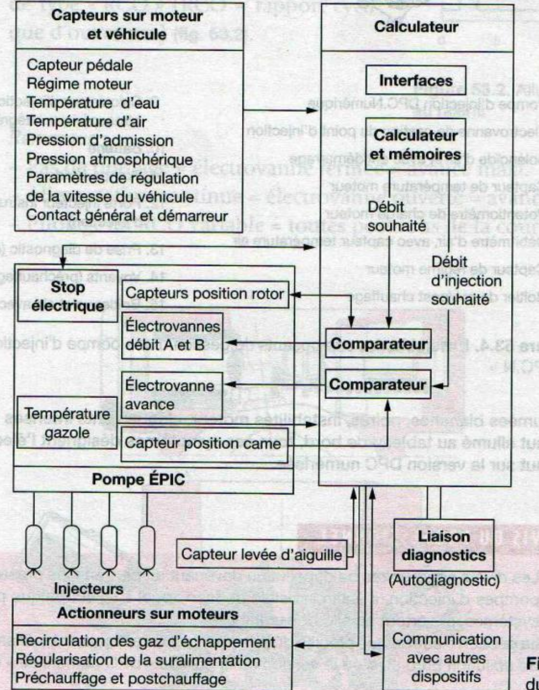


Figure 54.1. Vue d'ensemble du système EPIC

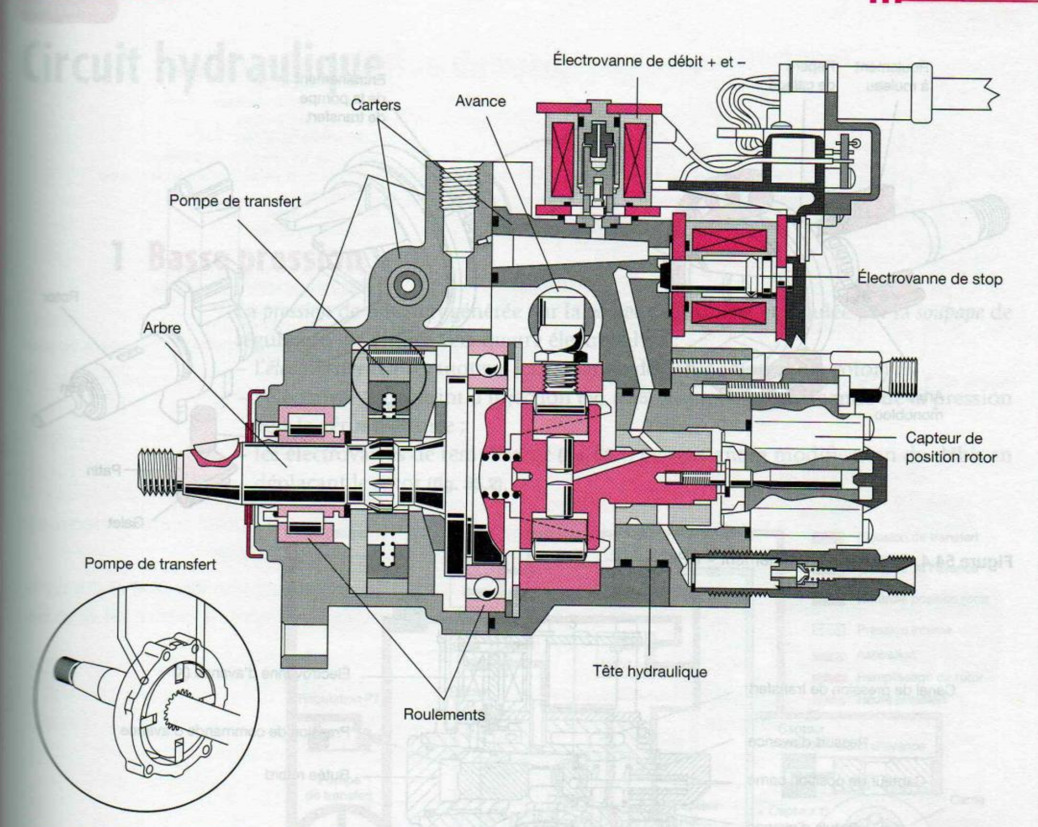


Figure 54.2. Pompe-injection « EPIC » modèle « IDI » (Doc. Delphi-Diesel)

2 Constitution

Les principaux sous-ensembles constitutifs de la pompe « EPIC » sont :

- *la pompe d'alimentation* (dite « de transfert », à palettes, surdimensionnée pour les besoins de pression de commande dès les premiers tours moteur, et sa soupape régulatrice) **(fig. 55.1)** ;
- *l'ensemble arbre d'entraînement* **(fig. 54.4)**, porté par deux roulements (il en existe plusieurs versions, monobloc, ou avec arbre intermédiaire) ;
- *le circuit de pompage et de distribution haute pression* (tête hydraulique) **(fig. 54.2 et 55.2)** ;
- *le système d'avance,* commandé par une électrovanne, muni d'une détection de position par un capteur **(fig. 54.5)** ;
- l'ensemble de gestion des paramètres composé des électrovannes (débit +, débit –, arrêt moteur), du capteur de position du rotor **(fig. 55.2)**, comprenant également le capteur de température du carburant.

Ces différents actuateurs ou capteurs sont reliés au *calculateur* d'injection.

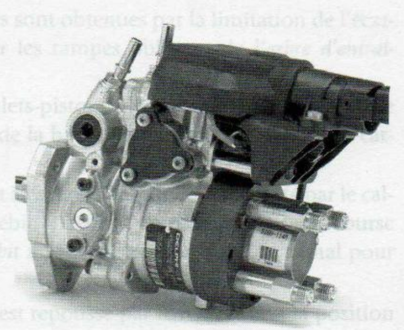


Figure 54.3. Pompe EPIC « IDI » (phase III)

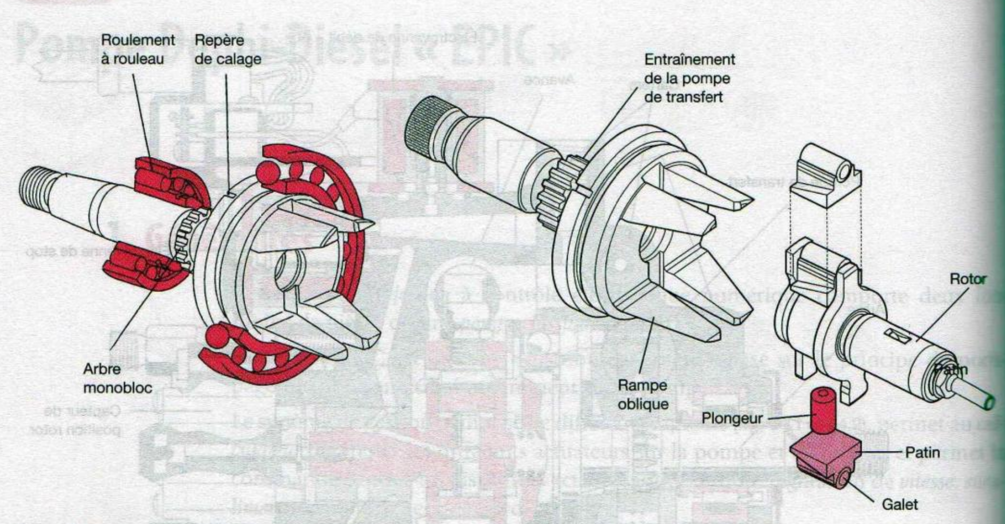


Figure 54.4. Système d'entraînement « EPIC »

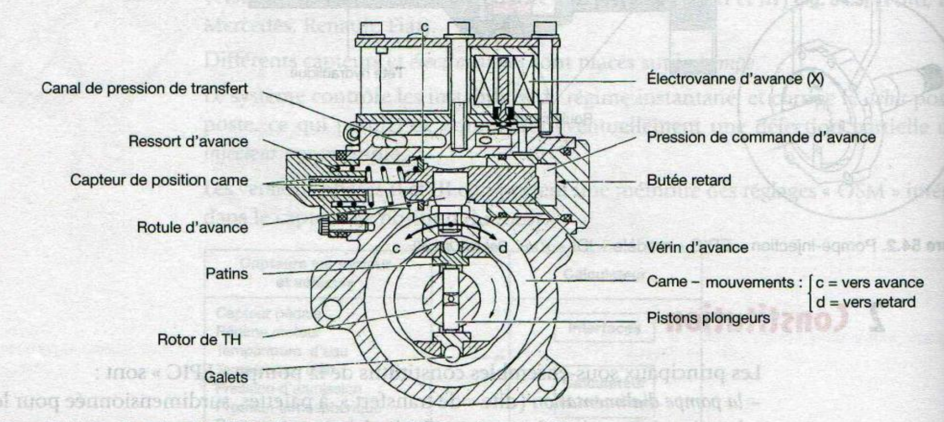


Figure 54.5. Gestion du point d'injection sur pompe « EPIC » phase 1 « IDI » *(Doc. Mercédès-Benz)*

Circuit hydraulique

1 Basse pression

La *pression* de transfert générée par la *pompe* de transfert et régulée par la *soupape* de régulation est dirigée vers quatre électrovalves :

– l'*électrovalve* d'arrêt moteur (commande de l'alimentation du rotor) ;
– l'électrovalve de point d'injection **(fig. 54.5)** assurant la commande de la pression vers le vérin d'avance ;
– les électrovalves de remplissage **(fig. 55.1)** permettant la modification du débit en déplaçant le rotor **(fig. 55.2)**.

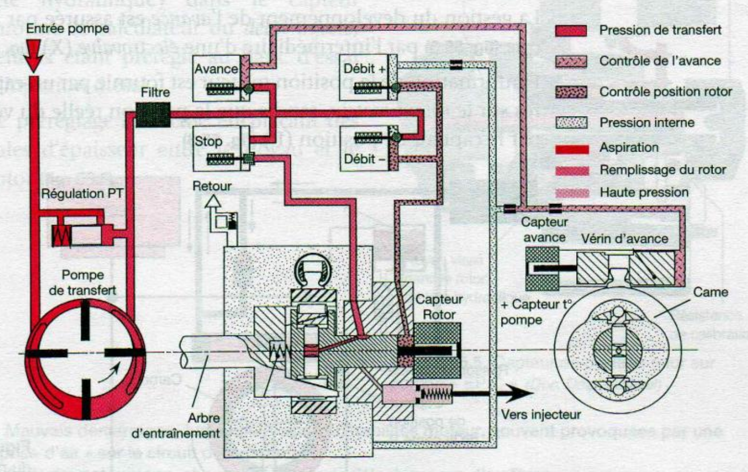


Figure 55.1. Circuit hydraulique de la pompe EPIC « IDI » *(Doc. Delphi-Diesel)*

2 Haute pression, variations du débit

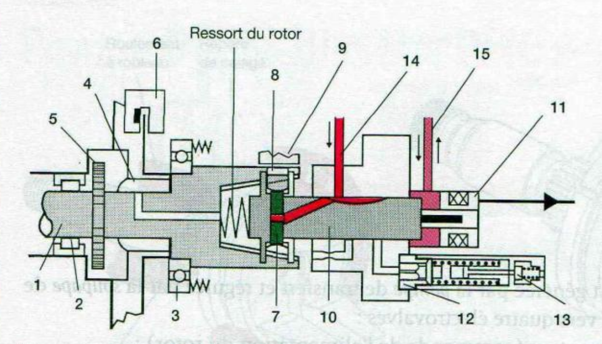
Le rotor comporte toujours des pistons plongeurs (2 ou 4), le fonctionnement de la distribution et du pompage haute pression est identique à celui de la pompe « DPC » **(fiche 37) (fig. 37.4)**, version pour moteurs suralimentés.

Par contre, les variations de *débits* injectés sont obtenues par la limitation de l'écartement des ensembles patins-galets, sur les rampes obliques de l'*arbre d'entraînement* **(fig. 55.1)**.

La compression des ensembles patins-galets-pistons plongeurs par les bossages de l'anneau à cames, permet la génération de la haute pression, et l'injection du carburant aux *injecteurs*.

Le déplacement axial du rotor par rapport à l'arbre d'entraînement, piloté par le calculateur à l'aide des deux *électrovannes* (débit +, débit –, **fig. 55.1**) fait varier la course des pistons plongeurs et, par suite, le *débit injecté* (de zéro au débit maximal pour le démarrage).

Pompe à l'arrêt, pression nulle, le rotor est repoussé par le ressort vers la position « débit de démarrage » **(fig. 55.2)**.



1. Arbre de pompe
2. Roulement à rouleaux
3. Roulement à billes
4. Rondelle de butée
5. Pompe de pression de transfert
6. Capteur de position d'arbre de pompe
7. Plongeur
8. Galet de patin
9. Anneau à cames
10. Rotor
11. Capteur de position de rotor
12. Clapet de sortie haute pression
13. Frein de réaspiration
14. Pression de transfert
15. Pression d'alimentation et d'évacuation du rotor

Figure 55.2. Pilotage de la position du rotor de tête hydraulique

3 Avance

La gestion du développement de l'*avance* est assurée par l'unité centrale électronique **(fig. 55.3)** par l'intermédiaire d'une *électrovalve* (X) **(fig. 54.5)**.

L'information de la position moteur est fournie par un capteur **(fig. 55.4)** et des repères sur le *volant moteur*, tandis que la position réelle du vérin d'avance est détectée par le capteur de position (P) **(fig. 55.3)**.

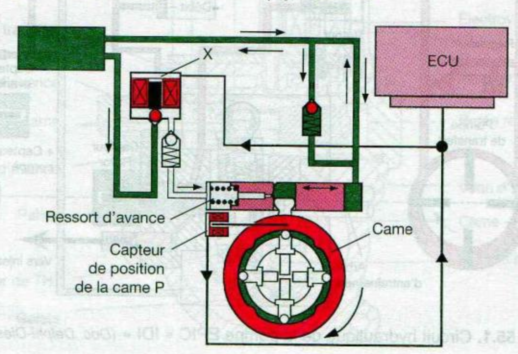


Figure 55.3. Système de gestion du point d'injection sur pompe « EPIC » *(Doc. Ford)*

4 Contrôle du débit par l'électronique (boucle fermée)

Le contrôle du débit par l'électronique (boucle fermée) **(fig. 55.4)** répond au principe suivant :

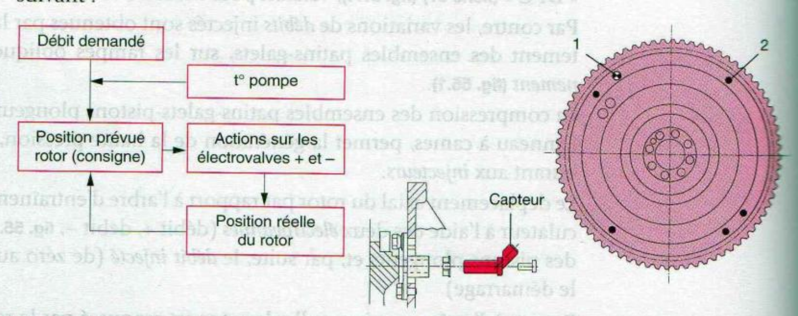


Figure 55.4. Système de déclenchement de pompe d'injection (1 capteur et 5 trous dans le volant (2) pour un moteur 4 cylindres). (1) Calage de la distribution *(Doc. Ford)*

5 Capteur de position du rotor

5.1 Fonction

Ce capteur (fig. 55.5) a un rôle important dans la gestion des débits, il informe le calculateur électronique d'injection en permanence de la position axiale du rotor de tête hydraulique.

5.2 Constitution

C'est un capteur « inductif », fixé en bout de la tête hydraulique (fig. 55.2), dans lequel vient se déplacer un « noyau », vissé dans le rotor (fig. 55.5).

5.3 Fonctionnement

L'inductance variable en fonction de la position du noyau (donc du rotor de tête hydraulique) dans le capteur informe le calculateur du *débit injecté*, celui-ci étant préréglé au banc d'essai d'injection diesel.

Le préréglage s'effectue en plaçant des cales d'épaisseur entre le noyau et le rotor (fig. 55.5).

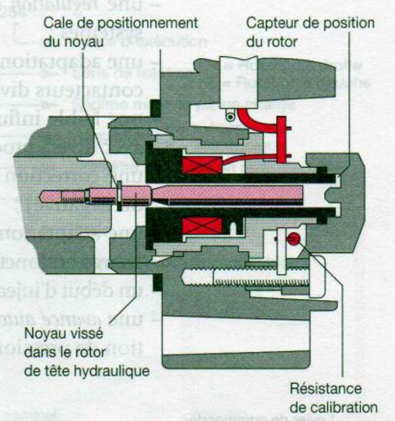


Figure 55.5. Capteur de position rotor sur pompe « EPIC » *(Doc. Delphi-Diesel)*

Dysfonctionnements

- Mauvais démarrages, fumées blanches, instabilités moteur, souvent provoquées par une « prise d'air » sur le circuit d'alimentation.
- Arrêt du moteur long, changer le noyau de l'électrovanne d'arrêt.
- Mise en sécurité, avec régime limité, et voyant défaut allumé (position du rotor non conforme, suite à des usures de pièces, carters, capteur rotor, jeu roulements).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les essais au banc d'essais de cette pompe nécessitent un ensemble complexe (matériels, logiciels, simulateurs), et ne peuvent être effectués que par des agents de la marque qualifiés.
- Le diagnostic électronique sur le véhicule est impératif avant toute dépose de cette pompe.
- Les additifs dans le carburant sont déconseillés, et peuvent changer le temps de réponse des actuateurs.

Pompe distributrice Bosch type VE... F...

1 Caractéristiques générales

Cette *pompe* **(fig. 56.1 et 56.2)**, qui s'est différenciée de l'ancienne pompe « VA » principalement par le système de régulation, possède, en outre, les caractéristiques suivantes :

- un *régulateur centrifuge* surmultiplié entraîné par pignons avec amortisseur de vibrations (rapport 1,6) **(fig. 56.3)** ;
- une *régulation* « toutes vitesses », « mini-maxi » ou une combinaison des deux systèmes ;
- une adaptation aisée de dispositifs de correction thermostatique ou altimérique, contacteurs divers, potentiomètre EGR, etc. ;
- une faible influence de la température du combustible (régulation mécanique), avec divers procédés de compensation ;
- une correction hydraulique ou mécanique de *débit* (par compensation positive ou négative) ;
- une adaptation de limiteur de fumée permettant de modifier le débit de pleine charge en fonction des pressions (*suralimentation*, ou atmosphérique) ;
- un début d'injection fixe, indépendant du débit ou variable en fonction de la charge ;
- une *avance automatique* à détection hydraulique et pompe à palettes avec régulation de pression incorporée ;

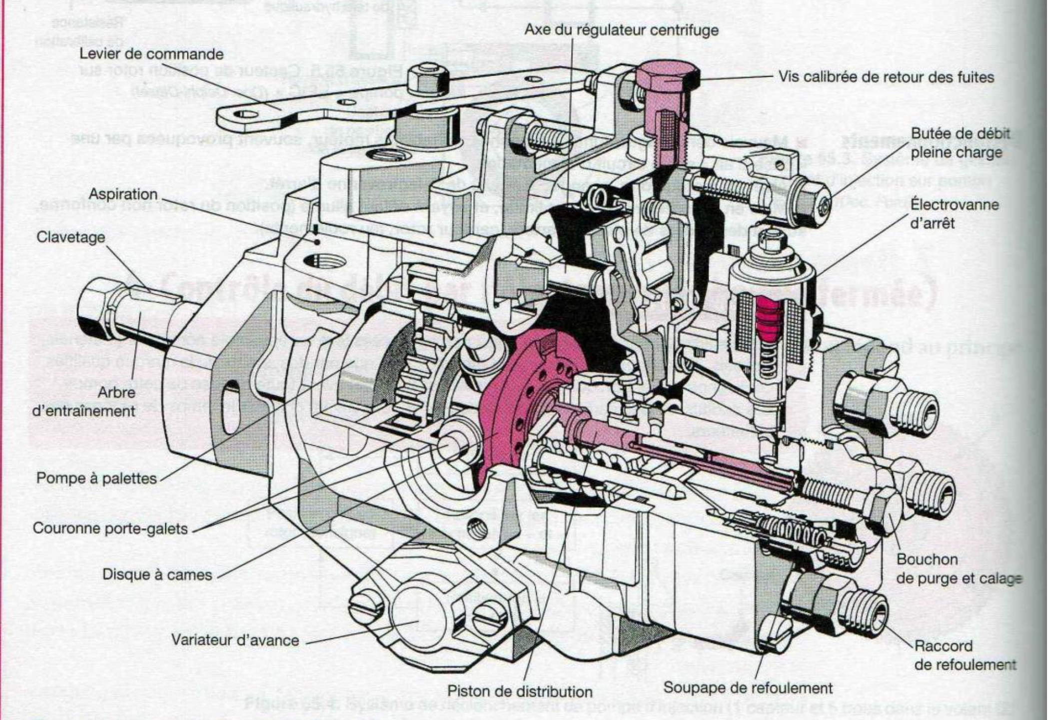


Figure 56.1. Pompe d'injection Bosch type VE... F...

- des dispositifs de « surcalage » manuels ou automatiques, thermostatiques ou électriques ;
- plusieurs versions à « régulation électronique » permettent le respect des normalisations antipollution actuelles (EURO III), et comprennent des fonctions nouvelles (meilleur agrément de conduite, diminution de la pollution) ;
- cette pompe remplie de combustible ne nécessite pas d'entretien particulier (organes en mouvement lubrifiés par le combustible) et offre aux constructeurs de moteurs une grande facilité d'adaptation permettant une amélioration de la dépollution des gaz d'échappement, de la consommation, du couple, de la puissance, etc.

2 Symbolisation

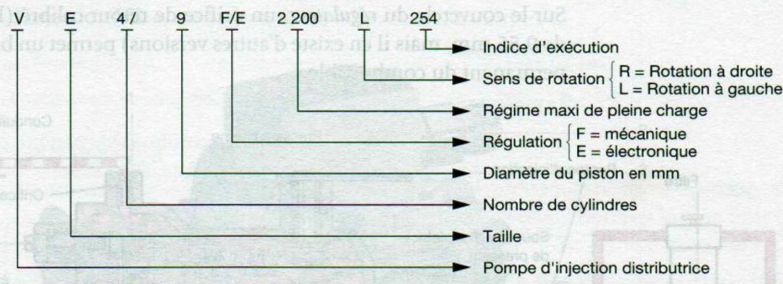


Figure 56.2. Symbolisation Bosch

3 Coupe verticale

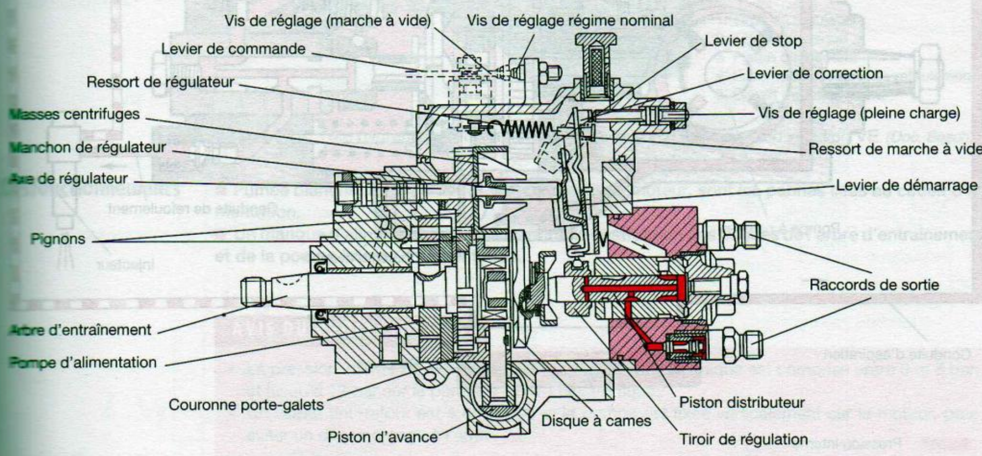


Figure 56.3. Pompe d'injection distributrice Bosch, Type VE… F…

Dysfonctionnement

■ **À-coups en charges partielles, vibrations moteur, pompage, dus à une mauvaise mise en ligne sur le moteur.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Cette pompe a beaucoup évolué dans le temps et de nombreux accessoires et systèmes sont venus s'ajouter aux fonctions de bases.
- Il est à constater que les bagues de l'arbre d'entraînement résistent bien dans le temps à la tension de la courroie de distribution.

Pompes distributrices Bosch VE... F... : circuit du combustible

Le combustible est aspiré au réservoir, à travers un filtre fin, par une *pompe d'alimentation* volumétrique à palettes **(fig. 57.1)**.

Cette pompe d'alimentation refoule le combustible vers l'intérieur du corps de pompe, permettant le fonctionnement du « bloc distributeur », du « *variateur d'avance* » et de dispositifs annexes. Une soupape « modulatrice » **(fig. 57.2)** montée en dérivation maintient une *pression* précise en fonction du *régime de rotation* **(fig. 57.3)**.

Sur le couvercle du *régulateur*, un orifice de retour calibré (le diamètre normal est de 0,55 mm, mais il en existe d'autres versions) permet un balayage et un dégazage permanent du combustible.

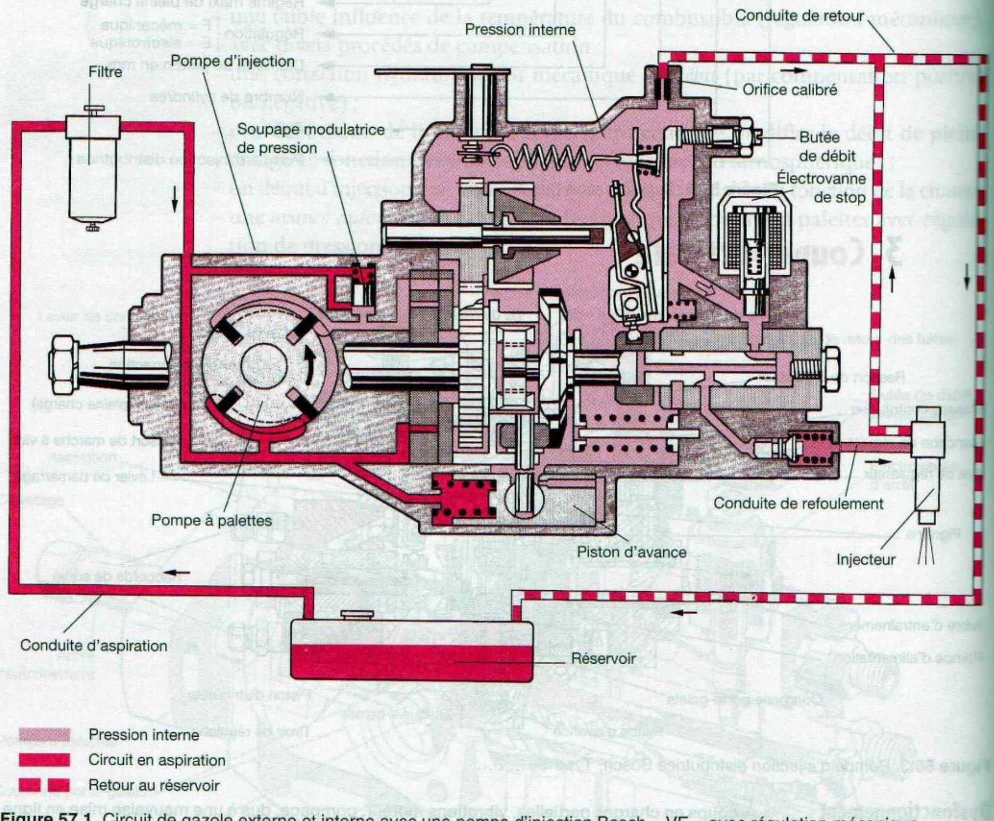


Figure 57.1. Circuit de gazole externe et interne avec une pompe d'injection Bosch « VE » avec régulation mécanique « toutes vitesses » *(Doc. VAG)*

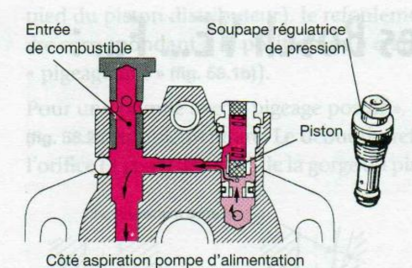


Figure 57.2. Fonctionnement soupape régulatrice de pression *(Doc. Denso)*

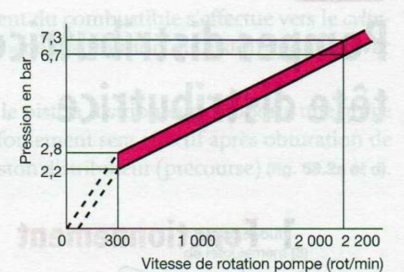


Figure 57.3. Pression de carburant dans le carter de pompe (1 bar = 100 kPa) *(Doc. Denso)*

La **figure 57.4** présente la tête hydraulique et la chambre haute pression d'une pompe d'injection VE.

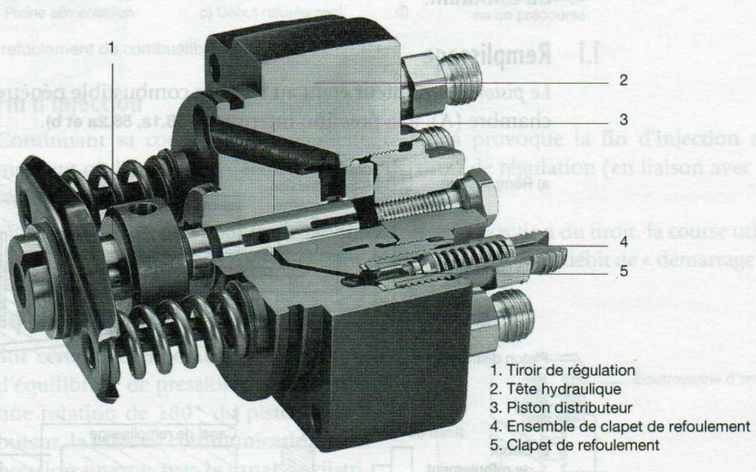


Figure 57.4. Tête hydraulique et chambre haute pression d'une pompe d'injection VE *(Doc. Bosch)*

Dysfonctionnements

- **Fumée blanche, ratés à l'accélération, calage du moteur, sont les pannes liées au circuit d'alimentation.**
- **Un manque d'alimentation peut engendrer la destruction des bagues de l'arbre d'entraînement, et de la pompe interne d'alimentation.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La pression interne de la pompe « VE » à régulateur mécanique est comprise entre 0 et 8 bar, et jusqu'à 12 bar sur la pompe « VE.E » électronique.
- Un clapet anti-retour est à envisager si la pompe est fixée verticalement sur le moteur, pour éviter un désamorçage à l'arrêt.

Pompes distributrices Bosch VE... F... : tête distributrice

1 Fonctionnement

L'*arbre d'entraînement* actionne le *piston* distributeur par l'intermédiaire d'un croisillon et du disque à cames **(fig. 56.3)**.

Ce disque prend appui sur les galets de la couronne porte-galets et transforme le mouvement de rotation en mouvement de translation **(fig. 56.1)**.

La combinaison de ces deux mouvements permet le refoulement et la distribution du carburant.

1.1 Remplissage

Le *piston* distributeur étant au PMB, le combustible pénètre par l'orifice (1) dans la chambre (A), à la pression interne **(fig. 58.1a, 58.2a et b)**.

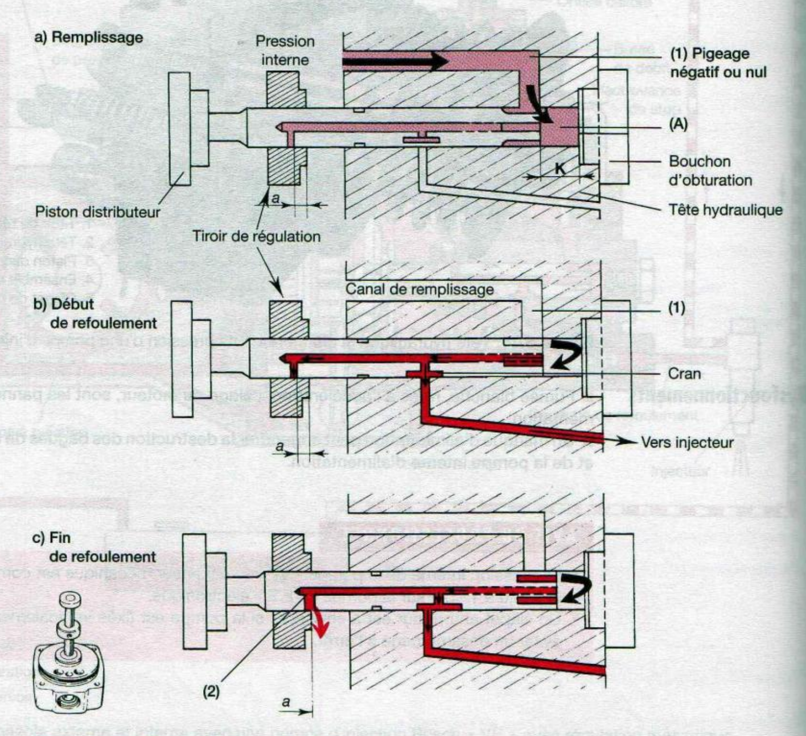


Figure 58.1. Tête distributrice « VE » (phases de fonctionnement)

1.2 Début de refoulement

Le *piston* distributeur, commandé par le disque à cames, amorce un mouvement de montée et obture l'orifice (1). À cet instant précis (le réglage de la cote K s'effectue en modifiant l'épaisseur du « gain de poussée » placé entre le disque à cames et le

pied du piston distributeur), le refoulement du combustible s'effectue vers le *cylindre* correspondant à la position du « cran » de distribution du piston (pompe avec « pigeage nul » **(fig. 58.1b)**).

Pour une pompe avec « pigeage positif », le piston distributeur comporte une gorge **(fig. 58.2d)** supplémentaire. Le début du refoulement sera effectif après obturation de l'orifice (1) par l'arête (3) de la gorge du piston distributeur (précourse) **(fig. 58.2a et d)**.

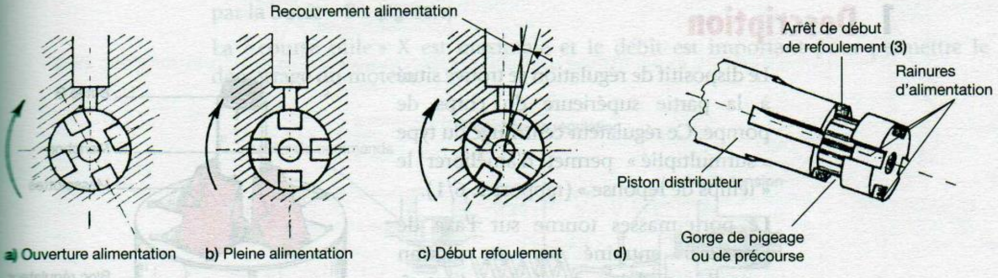


Figure 58.2. Alimentation et refoulement du combustible

1.3 Fin d'injection

Continuant sa course de refoulement, le *piston* provoque la fin d'injection au moment où l'orifice (2) découvre la face du tiroir de régulation (en liaison avec le régulateur) **(fig. 58.2c)**.

On peut observer que pour toute modification de la position du tiroir, la course utile « a » (débit) est modifiée et permet donc d'aller du « stop » au débit de « démarrage ».

1.4 Équilibrage de la pression

Sur certains équipements, une rainure d'équilibrage de pression permet, après une rotation de 180° du piston distributeur, la mise en communication de la pression interne avec le canal de distribution **(fig. 58.3)**.

L'équilibre des pressions réduit de façon sensible les dispersions de débits entre chaque cylindre.

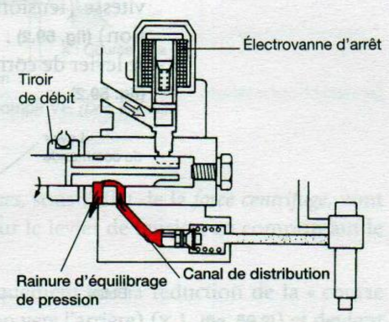


Figure 58.3. Équilibrage des pressions *(Doc. Denso)*

2 Symptômes liés aux dysfonctionnements

Dysfonctionnements

- **Mauvais démarrages à chaud, suite à bouchon 3 pans mal serré, ou tête usée (essai en refroidissant la tête hydraulique avec de l'eau froide, si le démarrage est meilleur, changer la tête hydraulique).**
- **Mauvais démarrages, fumées blanches, suite de la rupture des ressorts de pistons.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- En regardant la pompe du côté de l'arbre d'entraînement, clavetage placé à la verticale, le premier cylindre en injection est :
  – sortie « B » placée à « 1 heure », si la pompe tourne à droite ® ;
  – sortie « A » placée à « 11 heure », si la pompe tourne à gauche (L).

Pompe distributrice VE... F... : régulation mécanique

1 Description

Le dispositif de régulation se trouve situé à la partie supérieure du corps de pompe. Ce régulateur centrifuge du type « surmultiplié » permet d'améliorer le « temps de réponse » (rapport 1, 6/1).

Le porte-masses tourne sur l'axe de *régulateur* entraîné par un pignon amorti, solidaire de *l'arbre d'entraînement* de la pompe **(fig. 59.1)**.

Les quatre *masses centrifuges* commandent un manchon de régulation se déplaçant axialement et prenant appui sur les leviers de régulation.

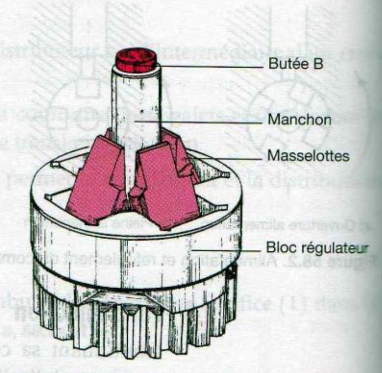


Figure 59.1. Ensemble du bloc de régulation sur une pompe VE

Ces leviers qui constituent un « ensemble » sont au nombre de trois :

- le levier de démarrage, muni d'un ressort de surcharge (à lame ou en spirale), est en liaison directe par une rotule avec le tiroir de débit **(fig. 59.2)** ;
- le levier de tension, permettant la fixation des *ressorts de ralenti* et de grande vitesse (tension variable suivant le déplacement du levier extérieur d'accélération) **(fig. 59.2)** ;
- le levier de correction, en appui sur la butée de réglage du *débit* de pleine charge **(fig. 59.2)**.

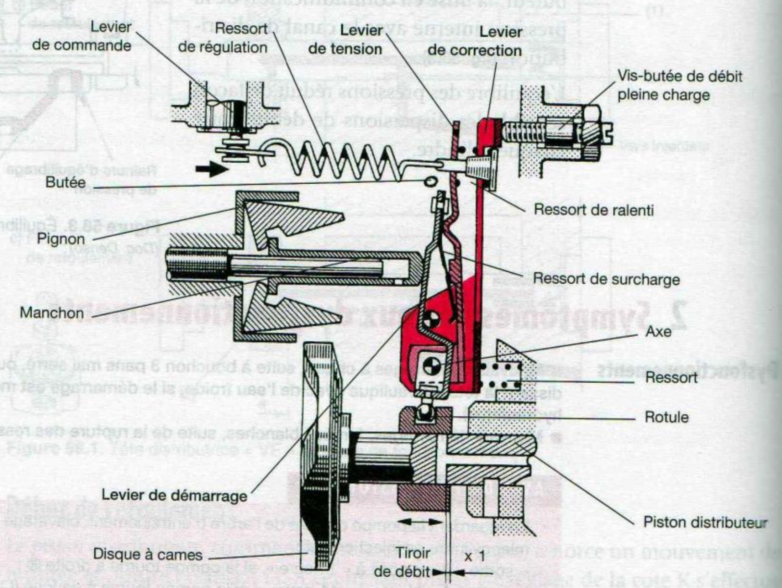


Figure 59.2. Système de régulation « toutes vitesses » sur une pompe VE (en position ralenti)

2 Principe de fonctionnement

2.1 À l'arrêt

Le ressort de surcharge pousse le levier de démarrage vers le régulateur et entraîne le tiroir de débit vers l'avant **(fig. 59.3)**, les *masselottes* sont au repos, le manchon est en position arrière, la course « MS » correspond à une valeur constructeur, réglable par la butée « B » **(fig. 59.1)**.

La « course utile » X est maximale et le débit est important pour permettre le démarrage du moteur.

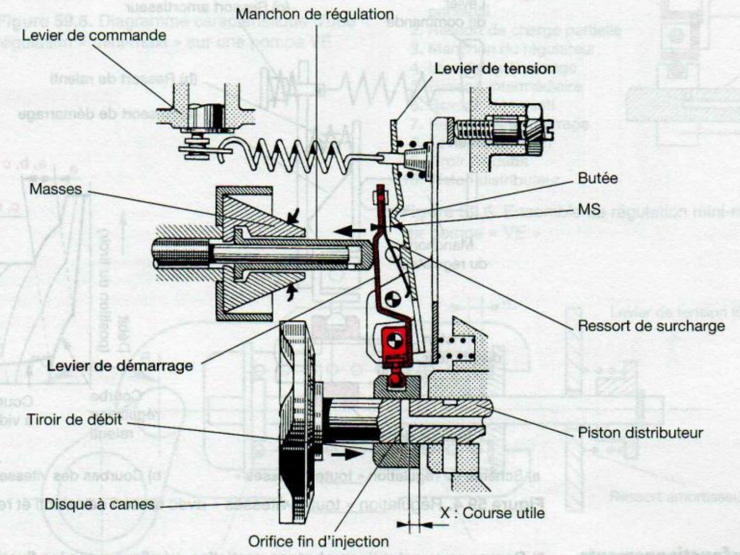


Figure 59.3. Position « débit de démarrage » sur pompe VE *(Doc. Renault)*

2.2 Après démarrage

La *vitesse* de rotation augmente et les *masses,* sous l'effet de la *force centrifuge,* vont amener le levier de démarrage en appui sur le levier de tension en comprimant le *ressort* de surcharge plus faible **(fig. 59.2)**.

Le *débit* de surcharge s'élimine automatiquement par la réduction de la « course utile » (déplacement du tiroir de régulation vers l'arrière) (× 1, **(fig. 59.2)**) et devient la position « débit pleine charge » réglée par la vis butée du levier de correction **(fig. 59.2)**.

3 Régulateur « toutes vitesses »

3.1 Au ralenti

Le *ressort* de régulation est détendu et la régulation s'effectue sur le « ressort de ralenti » **(fig. 59.2)**.

3.2 Vitesse maximale

– Le levier de commande **(fig. 59.3)** est en butée maximale.
– Le *ressort de ralenti* est écrasé et le ressort de régulation est en tension maximale.

– Au régime maximal du moteur, l'effort des *masses* devient supérieur à celui du ressort de régulation ; le levier de tension est repoussé par le manchon de régulation et entraîne le tiroir de débit. La cote (X) diminue progressivement jusqu'à correspondre au débit d'entretien du moteur à vide.

Pour toute position intermédiaire du levier de commande (entre le ralenti et la vitesse maximale), une position d'équilibre :

$$\frac{\textit{tension du ressort de régulation}}{\textit{force des masses}}$$

s'établit, et détermine un débit correspondant au besoin du moteur **(fig. 59.4)**.

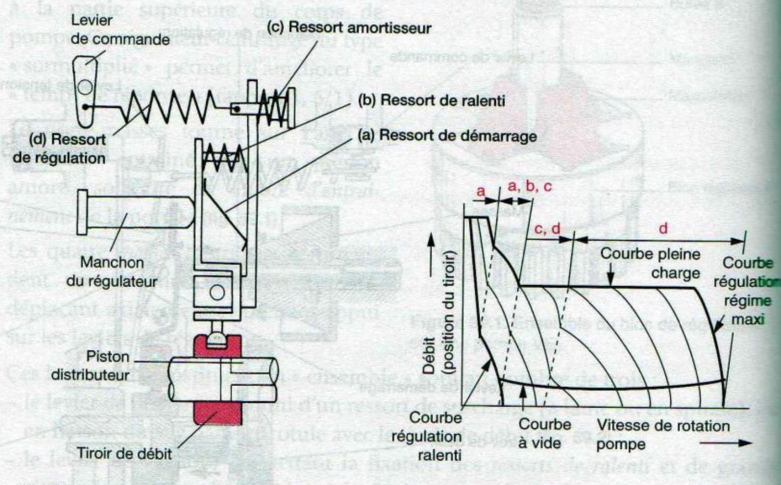


Figure 59.4. Régulation « toutes vitesses » avec ressort de ralenti et ressort amortisseur *(Doc. Denso)*

Dysfonctionnements

- **Pompage au ralenti, en charges partielles, vérifier toutes les fixations de la pompe.**
- **Instabilités à tous régimes, suite au jeu pris par la rotule de commande du tiroir sur le levier de régulation.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le régulateur « toutes vitesses » est réservé aux applications non automobiles.
- La surmultiplication est avantageuse pour le temps de réponse, mais engendre quelquefois des instabilités ou pompages du moteur, dues à des vibrations amplifiées.

4 Régulateur « mini-maxi »

4.1 Régime ralenti dépassé

Le régime de *ralenti* étant dépassé **(fig. 59.5)** (ressort (6) comprimé), le *ressort* de charge partielle (2) entre en action **(fig. 59.6)**.

En fonction de l'augmentation de vitesse du moteur et suivant que le ressort (2) est plus ou moins comprimé (force exercée sur l'accélérateur), la distance « a » va correspondre à un déplacement du tiroir de régulation **(fig. 59.7)**.

Pour une même position d'accélération (en charge partielle), et du fait de la correction obtenue par la distance « a », le *débit injecté* ne va donc plus augmenter avec la *vitesse,* mais rester constant (ou en légère diminution), évitant les à-coups du véhicule en charge partielle.

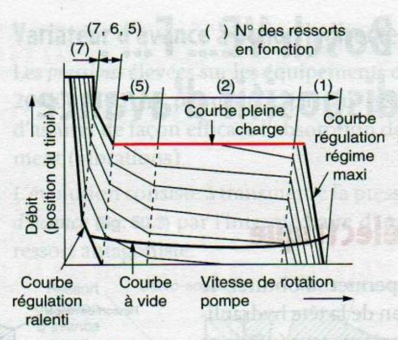
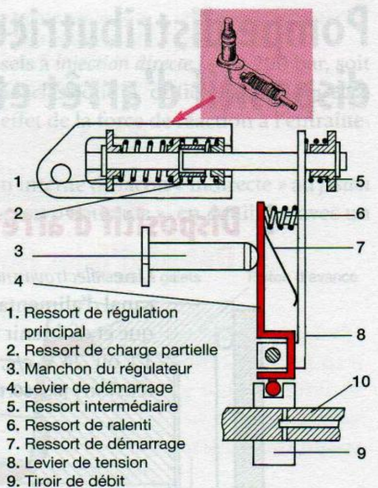


Figure 59.5. Diagramme caractéristique d'une régulation « mini-maxi » sur une pompe VE



1. Ressort de régulation principal
2. Ressort de charge partielle
3. Manchon du régulateur
4. Levier de démarrage
5. Ressort intermédiaire
6. Ressort de ralenti
7. Ressort de démarrage
8. Levier de tension
9. Tiroir de débit
10. Piston distributeur

Figure 59.6. Ensemble de régulation mini-maxi sur pompe « VE »

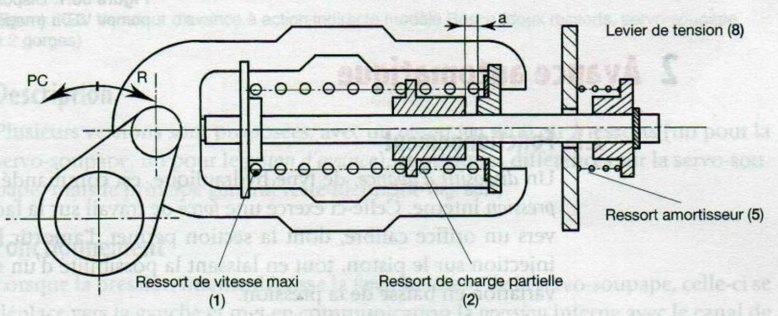


Figure 59.7. Ensemble ressorts de régulation mini-maxi sur pompe VE

4.2 Accélération maximale

En accélération maximale, le ressort (2) étant plus faible que le ressort de vitesse (1), il n'y aura plus de correction **(fig. 59.6)**.

La régulation au *ralenti* et à la *vitesse maximale* s'effectue de façon identique au régulateur toutes vitesses.

Dysfonctionnement

- À-coups en charges partielles, mauvaises décélérations, dues aux mauvais réglages des vis butées.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Meilleure souplesse, agrément de conduite pour les applications automobiles.
- Attention aux réglages des vis de butées.

Pompe distributrice Bosch VE... F... : dispositif d'arrêt et dispositif d'avance

1 Dispositif d'arrêt électrique

Une *électrovanne* permet d'obturer le canal d'alimentation de la tête hydraulique et d'obtenir l'arrêt moteur (versions 12 ou 24 V c/c, ouvert ou fermé sous tension) **(fig. 60.1)**.

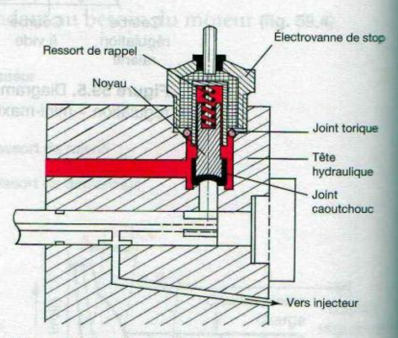


Figure 60.1. Dispositif d'arrêt électrique sur pompe VE... (modèle « ouvert sous tension »)

2 Avance automatique

2.1 Fonctionnement

Un *dispositif d'avance*, de type hydraulique, est commandé par les variations de la *pression* interne. Celle-ci exerce une *force* de travail sur la face active du *piston*, à travers un orifice calibré, dont la section permet d'amortir les réactions de chaque injection sur le piston, tout en laissant la possibilité d'un retour rapide lors d'une variation en baisse de la pression.

Tout déplacement du piston d'avance provoque, par l'intermédiaire d'un tourillon et de l'axe de liaison **(fig. 60.2)**, la rotation du plateau à galets (déplacement du point d'injection) en fonction de l'équilibre « pression interne », *tarage* du *ressort d'avance*, le réglage au banc d'essais s'effectuant à l'aide de cales d'épaisseur.

Sens de rotation pompe
Carter pompe
Plateau à galets
Pression de commande
Rondelle de réglage
Cale d'appui 0,5
Piston d'avance
Plaque de fermeture
Vers l'aspiration
Axe de liaison
Orifice calibré
Ressort d'avance
Tourillon

Figure 60.2. Sens de rotation de la pompe

Dysfonctionnements

- **Pas de démarrage, ou pas d'arrêt, voir tension de commande, ou état de l'électro-aimant, attention aux nouveaux dispositifs antivols.**
- **Mauvaise accélération, ou pas d'accélération, voir état du caoutchouc du noyau de stop.**
- **Fuite de carburant au sertissage.**

2.2 Variateur d'avance à action indirecte NLK

Les *pressions* élevées sur les équipements diesels à *injection directe* (+ de 200 bar, soit 20 000 kPa) ne permettent pas au système classique à orifice calibré **(fig. 60.2)** d'assurer de façon efficace l'absorption de l'effet de la force de réaction à l'entraînement (vibrations).

L'évolution consiste à transmettre la pression interne de façon « indirecte » au *piston d'avance* **(fig. 60.3)** par l'intermédiaire d'une « servo-soupape », en équilibre avec un ressort antagoniste.

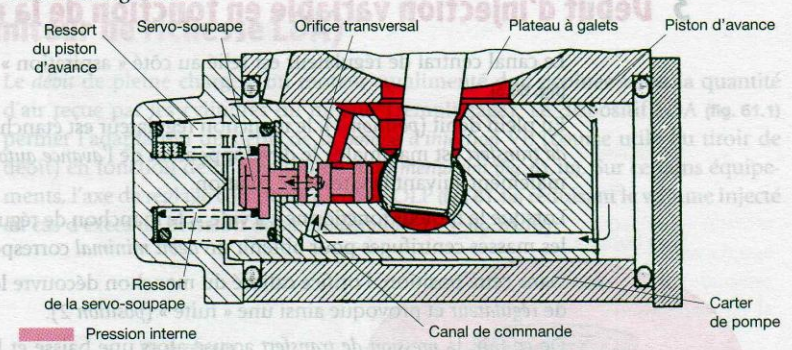


Figure 60.3. Variateur d'avance à action indirecte modèle Bosch (deux ressorts, servo-soupape à 2 gorges)

2.3 Description

Plusieurs versions sont proposées, avec un *ressort* **(fig. 60.4)** ou 2 ressorts (un pour la servo-soupape, un pour le *piston d'avance*), et quelques différences sur la servo-soupape, mais le principe général reste identique **(fig. 60.3)**.

2.4 Fonctionnement

Lorsque la pression interne dépasse la *force du ressort* de la servo-soupape, celle-ci se déplace vers la gauche et met en communication la *pression* interne avec le canal de commande **(fig. 60.4)**.

Le *piston d'avance* effectue un déplacement vers la gauche, à la rencontre de la servo-soupape **(fig. 60.4)** jusqu'à la fermeture du canal de commande **(fig. 60.3)**, créant une position d'équilibre.

Ce processus se répète à chaque variation de *pression interne* (positive ou négative). Une baisse de pression provoquant la fermeture de la servo-soupape et la communication du canal de commande **(fig. 60.3)** avec le côté *ressorts* (aspiration) par l'orifice central de la servo-soupape **(fig. 60.4)**.

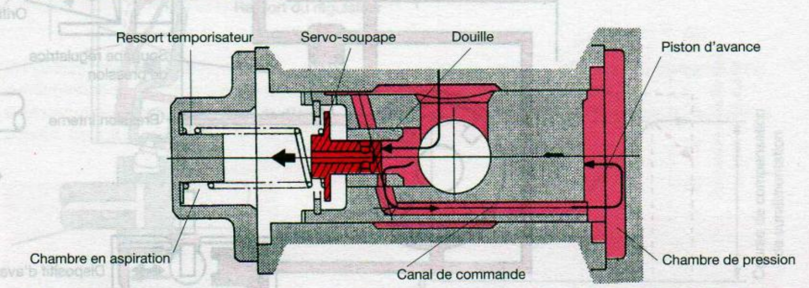


Figure 60.4. Fonctionnement du temporisateur à servo-soupape : lorsque la pression de la chambre de la pompe s'est accrue (Zexel)

Dysfonctionnements

- Fumées blanches, bleues, ratés du moteur à l'accélération, sont liées au dysfonctionnement de l'avance, ou à un défaut d'alimentation.
- Moteur bruyant, claquement, sont le signe d'un grippage du système à pleine avance, ou d'un mauvais calage sur le moteur.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le système « NLK » permet une amélioration du temps de réponse et une meilleure « hystérésis ».
- La précision du point d'injection est un facteur d'amélioration de la pollution.

3 Début d'injection variable en fonction de la charge

Le canal central de régulateur est relié au côté « aspiration » de la pompe à palette (fig. 60.5).

En plein débit (*position 1*), le manchon régulateur est étanche sur l'axe et la *pression de transfert* est maximale ; le développement de l'*avance automatique* s'effectue normalement suivant la vitesse de rotation.

Lorsque le moteur fonctionne « à vide », le manchon de régulateur est repoussé par les masses centrifuges pour obtenir un *débit minimal* correspondant.

Dans cette position, l'orifice calibré du manchon découvre le canal de l'axe central de *régulateur* et provoque ainsi une « fuite » (*position 2*).

De ce fait, la *pression de transfert* accuse alors une baisse et le *piston d'avance* commandé par celle-ci modifie le « point d'avance ».

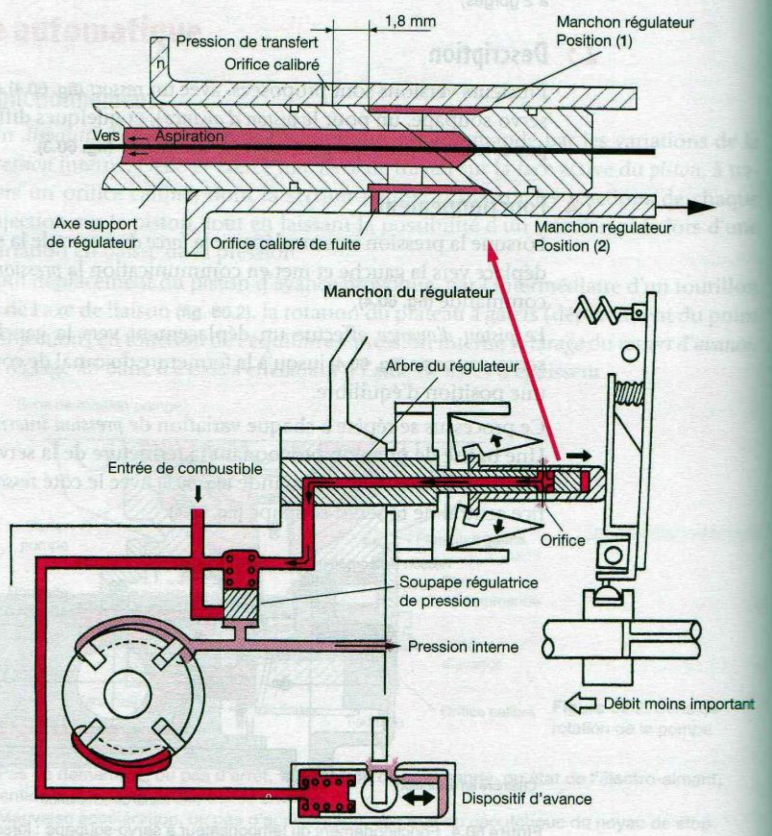


Figure 60.5. Avance en fonction de la charge

Pompes distributrices Bosch VE... F... : dispositifs annexes de correction

1 Compensateur de suralimentation (ou limiteur de richesse LDA)

Le *débit* de pleine charge d'un moteur suralimenté doit évoluer selon la quantité d'air reçue par les cylindres du moteur (remplissage). Le dispositif LDA **(fig. 61.1)** permet l'adaptation du débit de la *pompe d'injection* VE (course utile du tiroir de débit) en fonction de la pression de *suralimentation* **(fig. 61.1b)**. Sur certains équipements, l'axe de réglage comporte un cône OLP **(fig. 61.1a)** réduisant le volume injecté en cas d'excès de pression de *suralimentation* (P3, **fig. 61.1b**).

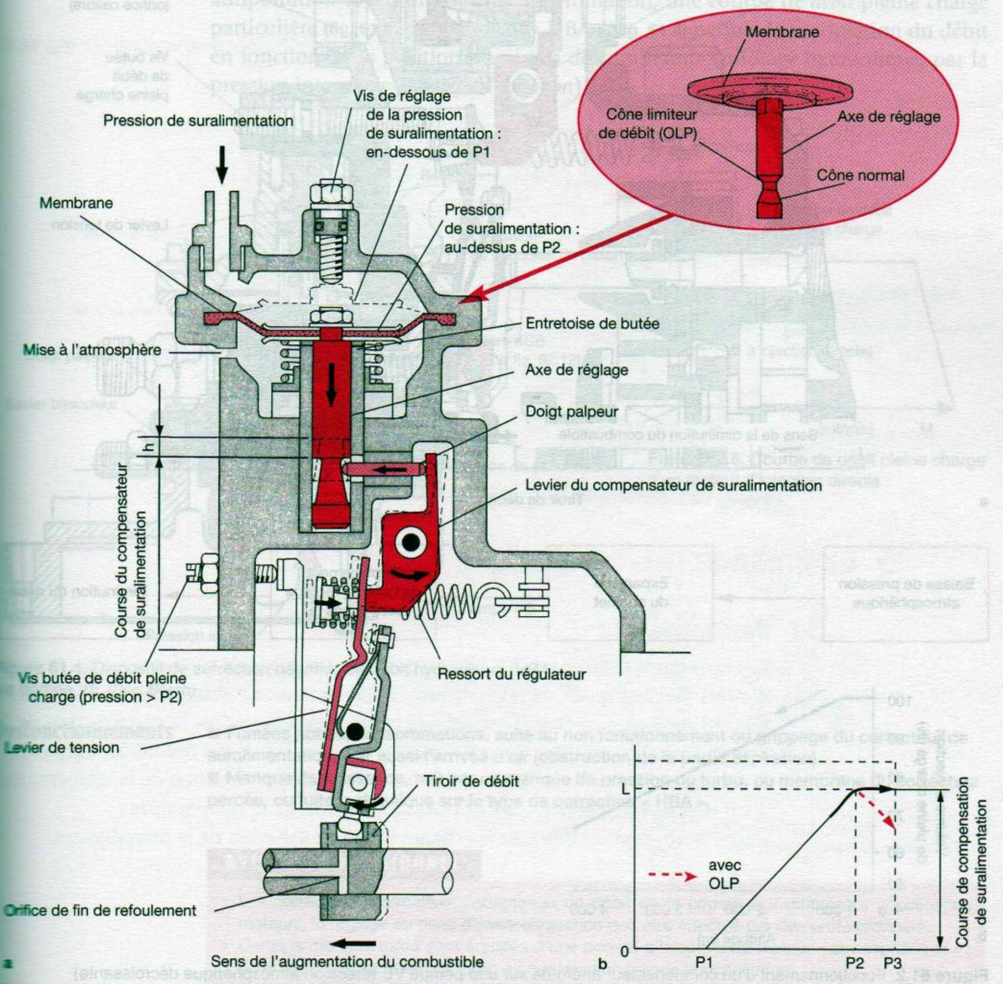


Figure 61.1. Fonctionnement du dispositif LDA sur une pompe VE (pression > P2) *(Doc. Zexel)*

2 Correcteur altimétrique pour diesel non suralimenté (compensateur anéroïde ADA)

Le *débit* de pleine charge d'une pompe VE peut être adapté aux situations de fonctionnement en altitude, afin d'éviter les fumées noires dues à la baisse de densité de l'air **(fig. 61.2b et 61.3)**.

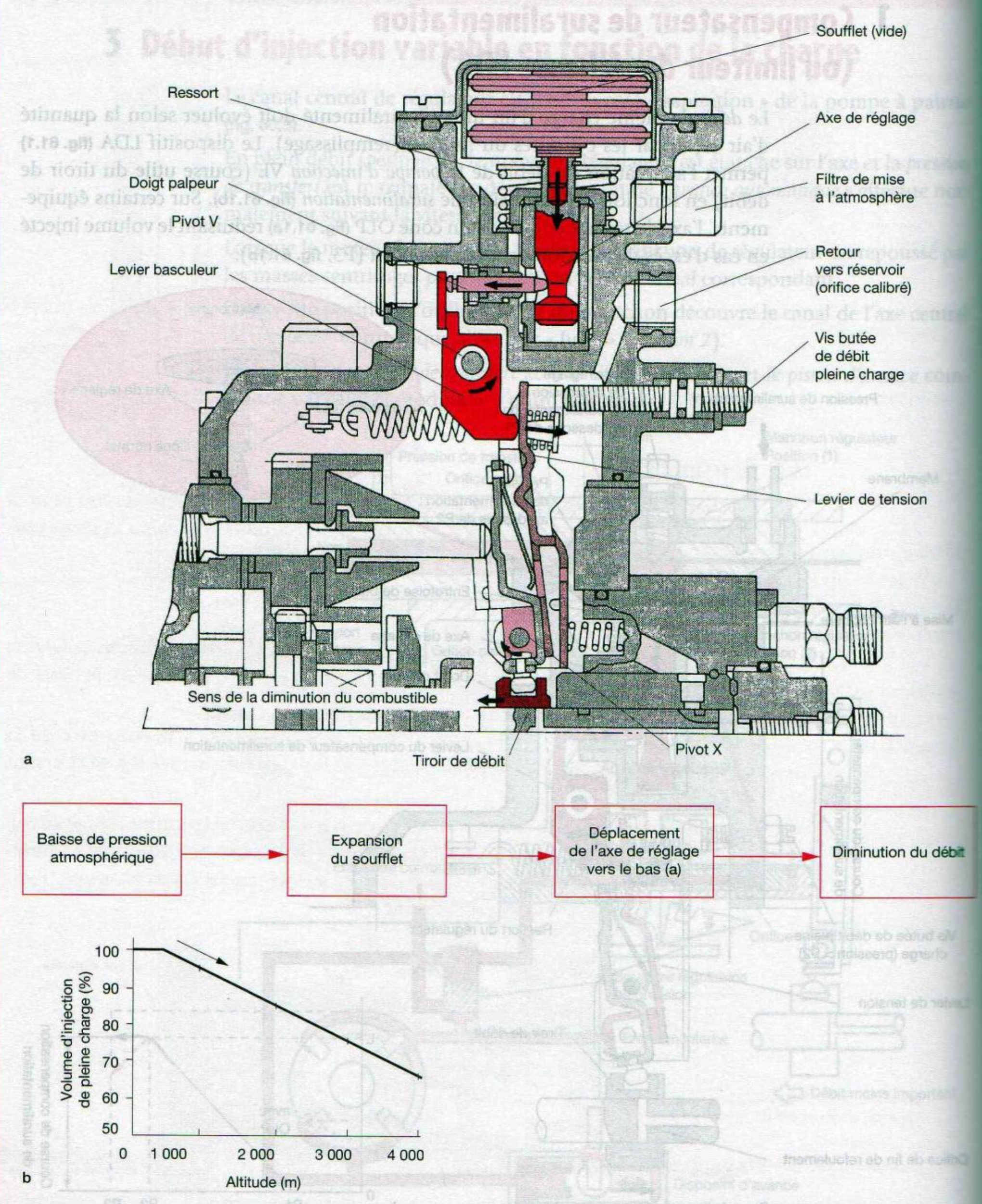


Figure 61.2. Fonctionnement d'un compensateur anéroïde sur une pompe VE (pression atmosphérique décroissante) *(Doc. Denso)*

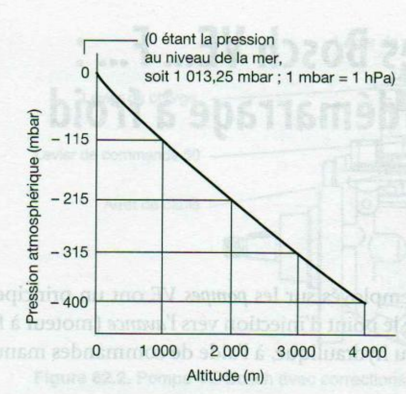


Figure 61.3. Relation entre la pression atmosphérique et l'altitude

3 Correcteur de débit hydraulique HBA

Les moteurs diesels à injection « directe » demandent, afin de respecter les normes antipollution et d'optimiser la consommation, une courbe de *débit* pleine charge particulière **(fig. 61.4)**. Le dispositif « HBA » **(fig. 61.4)** permet la modulation du débit en fonction de la position du piston de commande (pilotage hydraulique, par la pression interne de la *pompe d'injection*).

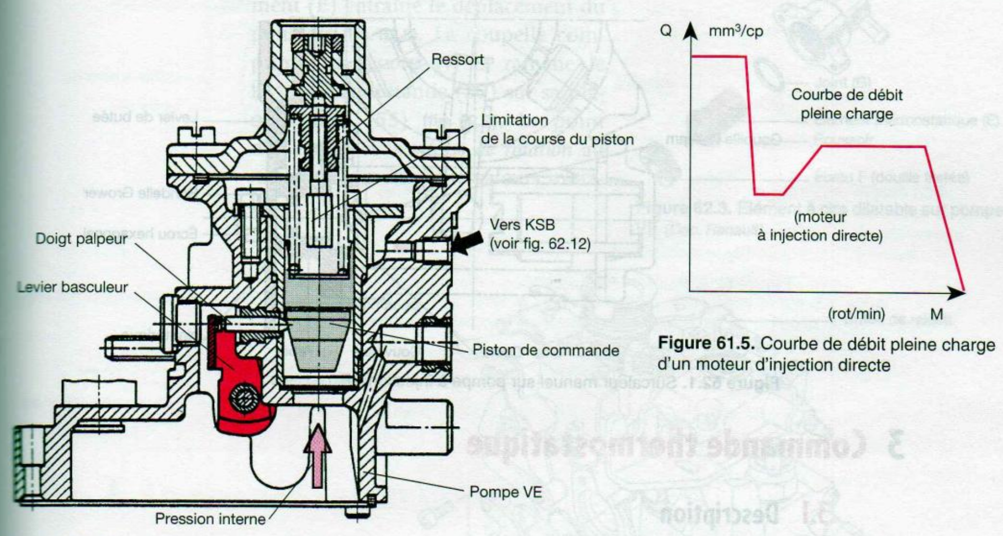


Figure 61.4. Dispositif de correction négative de débit hydraulique (HBA) sur pompe VE *(Doc. Bosch)*

Figure 61.5. Courbe de débit pleine charge d'un moteur d'injection directe

Dysfonctionnements

■ Fumées noires, consommations, suite au non fonctionnement ou grippage du correcteur de suralimentation, voir aussi l'arrivée d'air (obstruction de la partie aspiration).

■ Manque de puissance, soit par un manque de pression du turbo, ou membrane du correcteur percée, ou fuite hydraulique sur le type de correcteur « HBA ».

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les correcteurs permettent l'adaptation du débit de la pompe aux différentes applications moteurs, le réglage au banc d'essai d'injection doit être effectué par des professionnels.
- Certains moteurs turbo sont équipés d'une pompe d'injection de moteur « atmosphérique » ; dans cette configuration, le turbo a pour fonction unique la dépollution.

Pompes distributrices Bosch VE... F... : dispositif annexe de démarrage à froid

1 Fonctionnement

Tous les systèmes employés sur les *pompes VE* ont un principe de fonctionnement commun : déplacer le point d'injection vers l'*avance* (moteur à froid et au *ralenti*), de façon mécanique ou hydraulique, à l'aide de commandes manuelle, thermostatique ou électrique.

But : le « surcalage » permet la diminution des fumées bleues au démarrage à froid et pendant la phase de réchauffage du moteur.

2 Correcteur manuel

Le levier 5, commandé par un câble, agit directement sur le piston d'avance **(fig. 62.1)**.

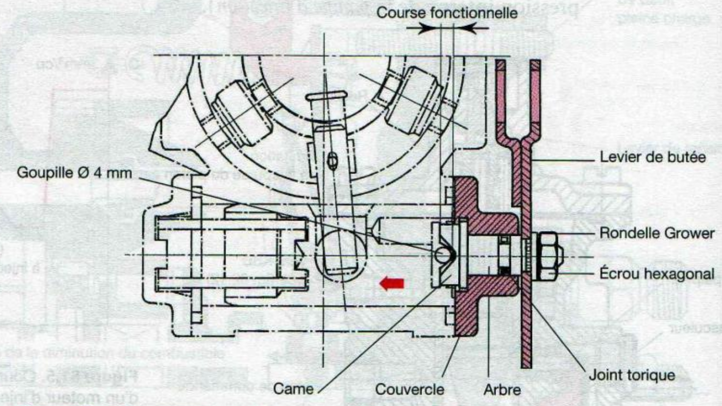


Figure 62.1. Surcaleur manuel sur pompe à injection VE

3 Commande thermostatique

3.1 Description

La commande s'effectue à l'aide d'un élément dilatable de type « cire » **(fig. 62.2)**, en contact avec le liquide de refroidissement du moteur. Ce système permet d'obtenir suivant les équipements (l'implantation est différente selon le constructeur de la *pompe d'injection* **(fig. 62.4, 62.6, 62.7 et 62.8)**, mais les fonctions restent identiques) :

- une correction de l'avance pour le démarrage (KSB) en fonction de la température ;
- un régime de ralenti variable (TLA) en fonction de la température ;
- une limitation du débit de surcharge (TAS) en fonction de la température.

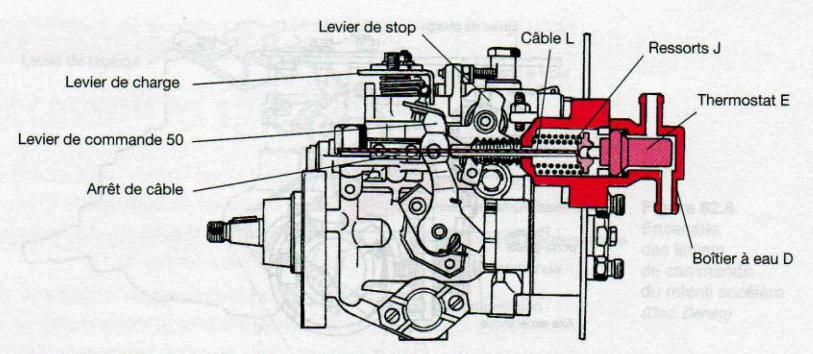


Figure 62.2. Pompe VE Bosch avec corrections à l'aide d'un élément thermostatique

3.2 Fonctionnement (système Bosch)

– *Moteur froid* : l'élément dilatable est en position rentré **(fig. 62.2)**, les ressorts (J) entraînent la coupelle et le câble (L) vers le thermostat (E) **(fig. 62.6)** : le levier (50) est basculé et déplace, en rotation, le plateau porte-galets **(fig. 62.5)**, en même temps que la rotule (21) amène le levier de charge en position ralenti à froid (distance A et B **(fig. 62.6)**).

– *Moteur chaud* : la dilatation de l'élément (E) entraîne le déplacement du poussoir **(fig. 62.3)**. La coupelle comprime les *ressorts* (J) et ramène le levier de commande (50) sur sa plaque butée (55) **(fig. 62.9)**. Le point d'injection et la *vitesse de rotation* au *ralenti* retrouvent leurs valeurs initiales.

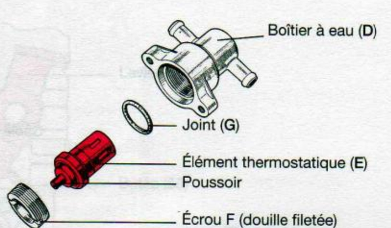


Figure 62.3. Élément à cire dilatable sur pompe VE *(Doc. Renault)*

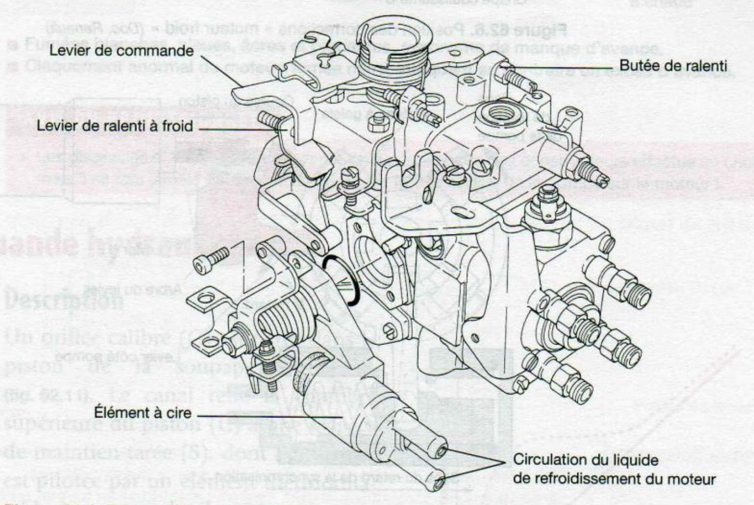


Figure 62.4. Pompe VE avec dispositif de démarrage à froid par un élément type « cire » dilatable *(Doc. Zexel)*

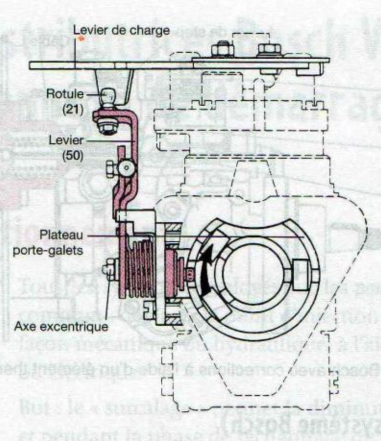


Figure 62.5. Commande du plateau à galet par un dispositif de démarrage à froid

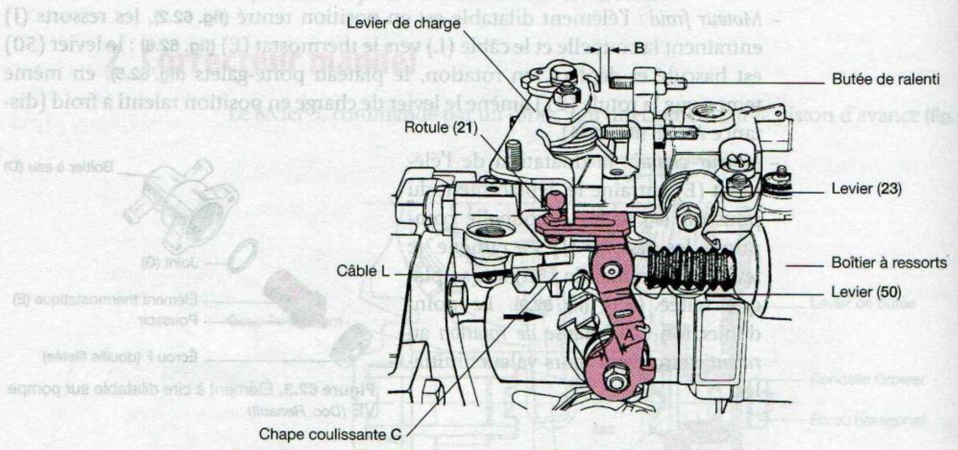


Figure 62.6. Position des corrections « moteur froid » *(Doc. Renault)*

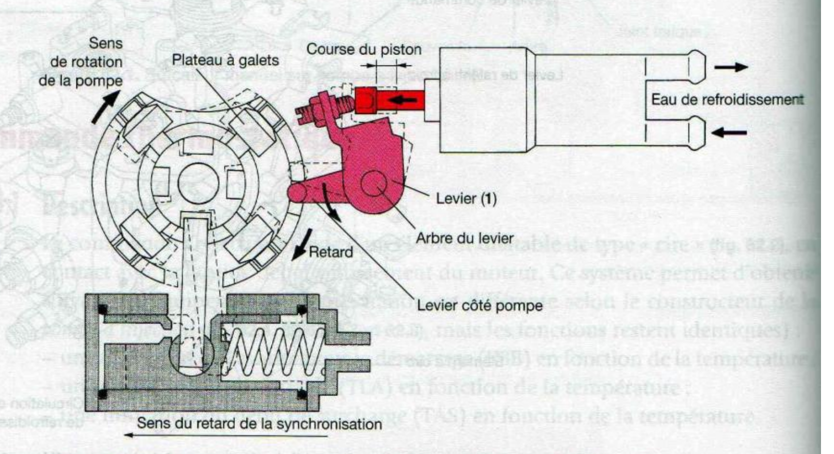


Figure 62.7. Mise hors fonction du dispositif de démarrage à froid, type cire (KSB) *(Doc. Zexel)*

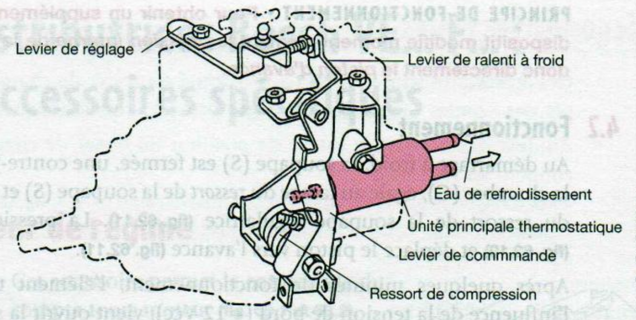


Figure 62.8. Ensemble des leviers de commande du ralenti accéléré *(Doc. Denso)*

3.3 Limitation du débit de démarrage (TAS)

Pour éviter la « bouffée » de fumée noire lors d'un démarrage, moteur chaud, une liaison (tige 25) entre le levier (50) et un levier supplémentaire (23) est établie. Le levier (50) étant revenu sur sa butée (55) **(fig. 62.9)**, le levier (23) est en appui sur la vis (28) et limite le débattement du « levier de démarrage » par sa commande interne (moteur chaud). À froid, le déplacement du levier (50) et du levier (23) rétablit la course normale du levier de démarrage et du *débit de démarrage*.

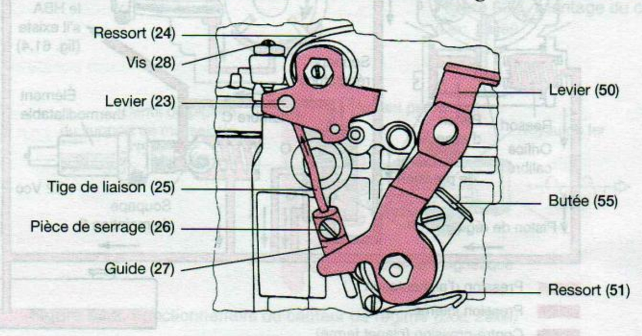


Figure 62.9. Limitation du débit de démarrage à chaud

Dysfonctionnements

- Fumées blanches, bleues, âcres et piquantes, synonyme de manque d'avance.
- Claquement anormal du moteur, fumée noire, indiquant au contraire un excès d'avance.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les dispositifs d'avance à froid sont nombreux, et chacun des constructeurs effectue un choix, mais il ne faut jamais oublier de vérifier avant tout le calage de la pompe sur le moteur !

4 Commande hydraulique KSB

4.1 Description

Un orifice calibré (G) est percé dans le piston de la soupape régulatrice **(fig. 62.11)**. Le canal relie la chambre supérieure du piston (C) à une *soupape* de maintien tarée (S), dont l'ouverture est pilotée par un élément thermodilatable à commande électrique **(fig. 62.11 et 62.12)**.

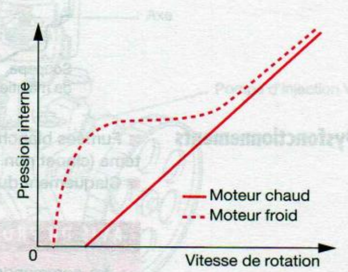


Figure 62.10. Modification de la pression interne selon la température du moteur

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • **Pour obtenir un supplément d'*avance* à froid, ce dispositif modifie momentanément la *pression interne* de la pompe et commande donc directement le *piston d'avance*.**

4.2 Fonctionnement

Au démarrage à froid, la soupape (S) est fermée, une contre-pression s'établit dans la chambre (C), égale au tarage du *ressort* de la soupape (S) et s'additionne à la force du ressort de la soupape régulatrice **(fig. 62.11)**. La pression interne est élevée **(fig. 62.10)** et déplace le piston vers l'avance **(fig. 62.11)**.

Après quelques minutes de fonctionnement, l'élément thermodilatable, sous l'influence de la tension de bord (+ 12 Vcc), vient ouvrir la soupape (S) et rétablit le circuit normal de régulation de la pression interne **(fig. 62.10)**. Une gorge annulaire (G) permet la limitation de la *pression maximale* par l'orifice (O) (courbe de pression normale en accélération) **(fig. 62.10)**.

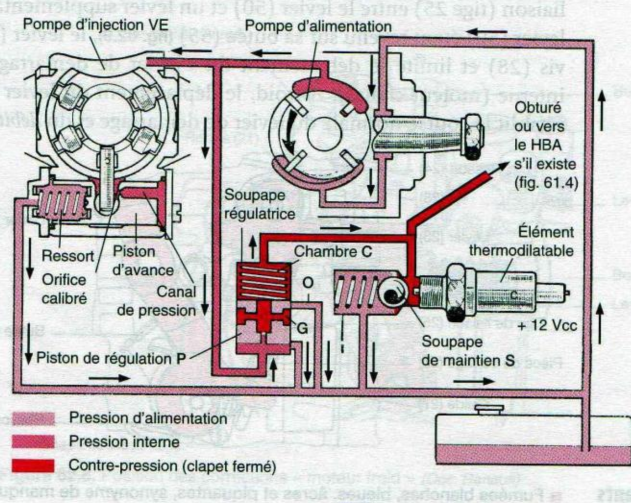


Figure 62.11. Circuit de « KSB » hydraulique *(Doc. Renault)*

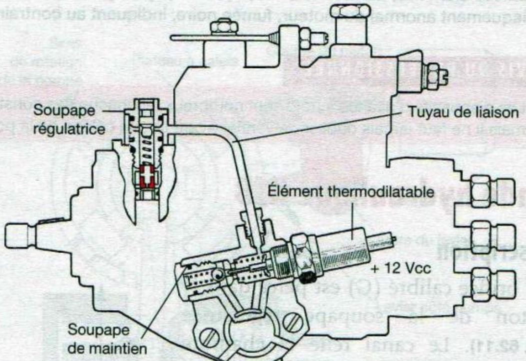


Figure 62.12. Implantation du dispositif « KSB hydraulique » sur une pompe VE

Dysfonctionnements

- **Fumées blanches, bleues, à froid, moteur vibre ou boite, suite au non fonctionnement du système (clapet non étanche, pression interne de pompe trop basse).**
- **Claquement du moteur à chaud, système électrique en panne, ou élément dilatable HS.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La commande hydraulique permet la modification du point d'injection uniquement après le démarrage du moteur, choix de certains constructeurs (pas de retours sur le démarreur).

Pompes distributrices Bosch VE... F... : quelques accessoires spécifiques

1 Capteur de régime

Cet accessoire permet la commande du compte-tours moteur **(fig. 63.1 et 63.2)**.

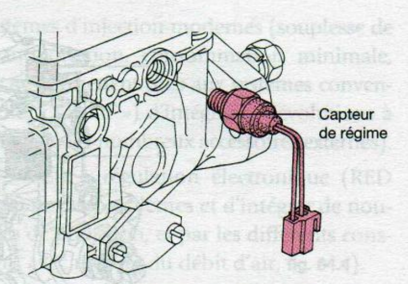


Figure 63.1. Montage du capteur de régime *(Doc. Zexel)*

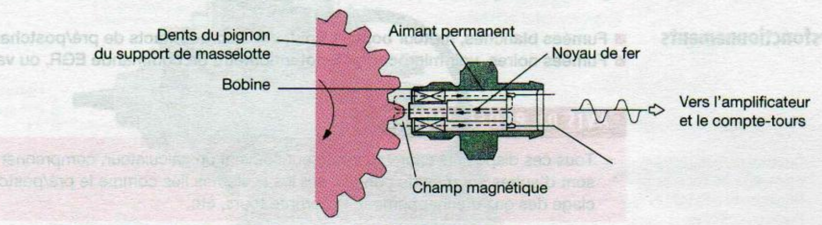


Figure 63.2. Fonctionnement du capteur de régime *(Doc. Zexel)*

2 Potentiomètre de charge

Placé sur l'axe du levier de commande, ce potentiomètre **(fig. 63.3)** informe un boîtier électronique sur le niveau de charge du moteur (recyclage des gaz d'échappement) en convertissant la position du levier de commande en un signal de tension.

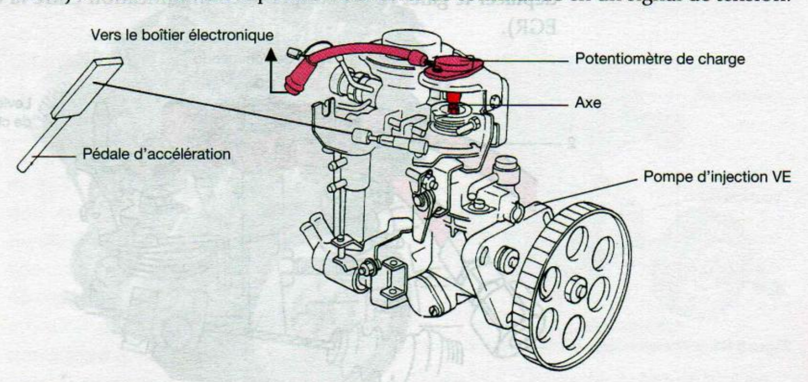


Figure 63.3. Emplacement du potentiomètre de charge sur la pompe d'injection VE

3 Microcontacteurs

Ces accessoires sont disposés à proximité du levier de charge et sont commandés par des « pattes » réglables selon les normes du constructeur **(fig. 63.4)**.

Au-delà d'une certaine valeur de position du levier de charge, les microcontacts coupent les fonctions :
– recyclage des gaz d'échappement (microcontact « R », **fig. 63.4**) ;
– postchauffage (microcontact « P », **fig. 63.4**).

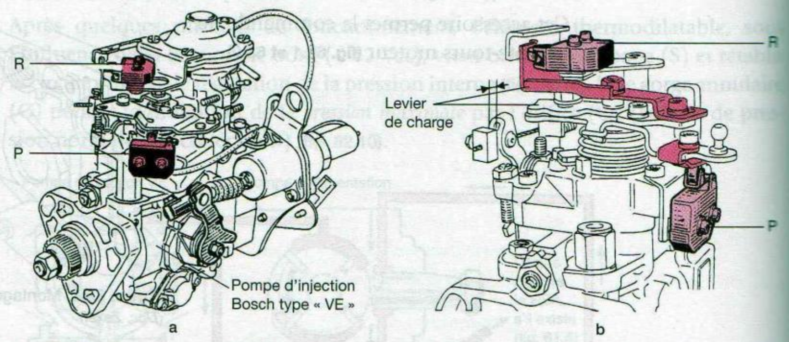


Figure 63.4. Emplacements des divers microcontacteurs sur une pompe VE *(Doc. Renault)*

Dysfonctionnements

- **Fumées blanches, moteur boite, à froid, voir microcontacts de pré/postchauffage.**
- **Fumées noires, voir microcontact, potentiomètre de commande EGR, ou valve à tiroir.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Tous ces dispositifs capteurs informent souvent un calculateur, comprennent des réglages, et sont d'autres sources de pannes, sur les systèmes liés comme le pré/postchauffage, le recyclage des gaz d'échappement, le compte tours, etc.

4 Valve de commande à dépression

La dépression générée par la pompe à vide, commande la valve de recyclage des gaz d'échappement, par l'intermédiaire d'un distributeur d'air fixé sur la pompe d'injection.
– Levier de charge en position ralenti ou faible charge : distributeur ouvert **(fig. 63.5)**.
– Levier en accélération (pleine charge) : distributeur fermé (la patte (1) vient déplacer le galet (2) et couper la communication entre la dépression et la valve EGR).

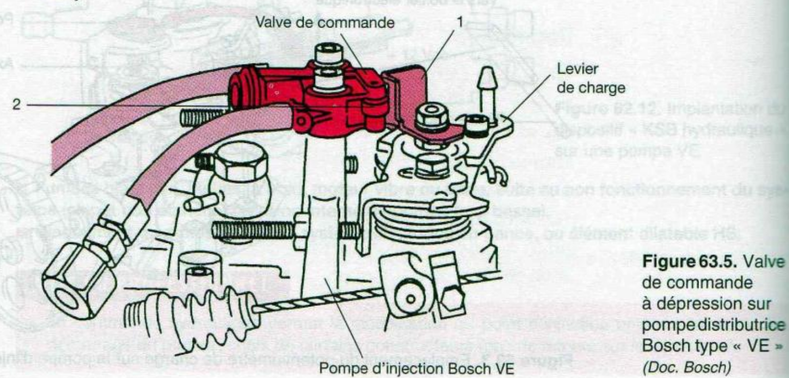


Figure 63.5. Valve de commande à dépression sur pompe distributrice Bosch type « VE » *(Doc. Bosch)*

Pompe Bosch type VE... E à régulation électronique (RED)

1 Évolution du système

Les exigences croissantes imposées aux systèmes d'injection modernes (souplesse de conduite, respect de la normalisation antipollution, consommation minimale, grande fiabilité, nouvelles fonctions, etc.) ne permettent plus aux systèmes conventionnels (*régulation mécanique* traditionnelle, « VE... F ») d'intégrer ces évolutions à un coût raisonnable (sur la **figure 64.1**, un aperçu des nombreux accessoires externes).

La *pompe d'injection* Bosch, version « VE... E » à régulation électronique (RED **(fig. 64.1)**) a permis de répondre à une partie de ces problèmes et d'intégrer de nouvelles fonctions demandées par les normes de pollution, et par les différents constructeurs (recyclage des gaz d'échappement avec mesure du débit d'air, **fig. 64.4**).

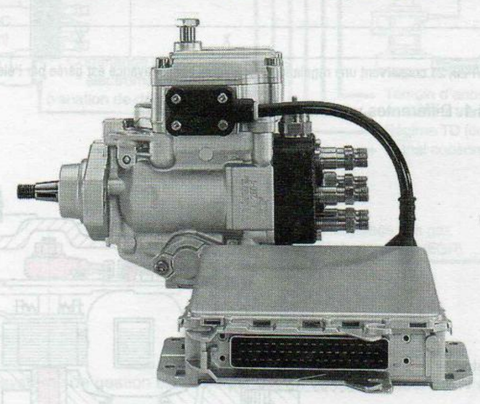


Figure 64.1. Pompe VE... E et boîtier électronique de commande

Le moteur VAG 1,9 TDI **(fig. 64.2)** est muni d'une pompe d'injection Bosch VE... E.

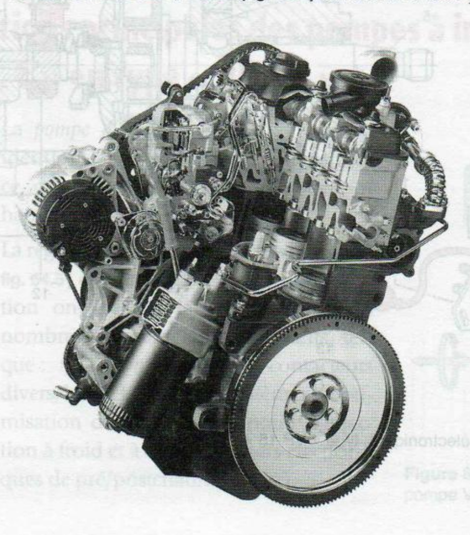


Figure 64.2. Moteur VAG 1,9 TDI

2 Assistance électronique

Différents niveaux d'assistances électroniques sont possibles sur la *pompe d'injectio*
Bosch « VE », et sont choisis par le constructeur du moteur, en fonction du respec
des normes de pollution par chacun des moteurs équipés **(fig. 64.3)**.

Moteurs à injection indirecte					
Type	Capteur de position du tiroir		Gestion électronique		Régulation mécanique
	1re génération (potentiométrique)	2e génération (inductif)	Débits	Avance	
VP15	X		X	X	
VP20*				X	X
VP36		X	X	X	
Moteurs à injection directe					
Type	Capteur de position du tiroir		Gestion électronique		Régulation mécanique
	1re génération (potentiométrique)	2e génération (inductif)	Débits	Avance	
VP34	X		X	X	
VP21*				X	X
VP37		X	X	X	

* Les pompes VP20, 21 conservent une régulation mécanique, seule l'avance est gérée par l'électronique.

Tableau 64.1. Différentes variantes Bosch « VE… E »

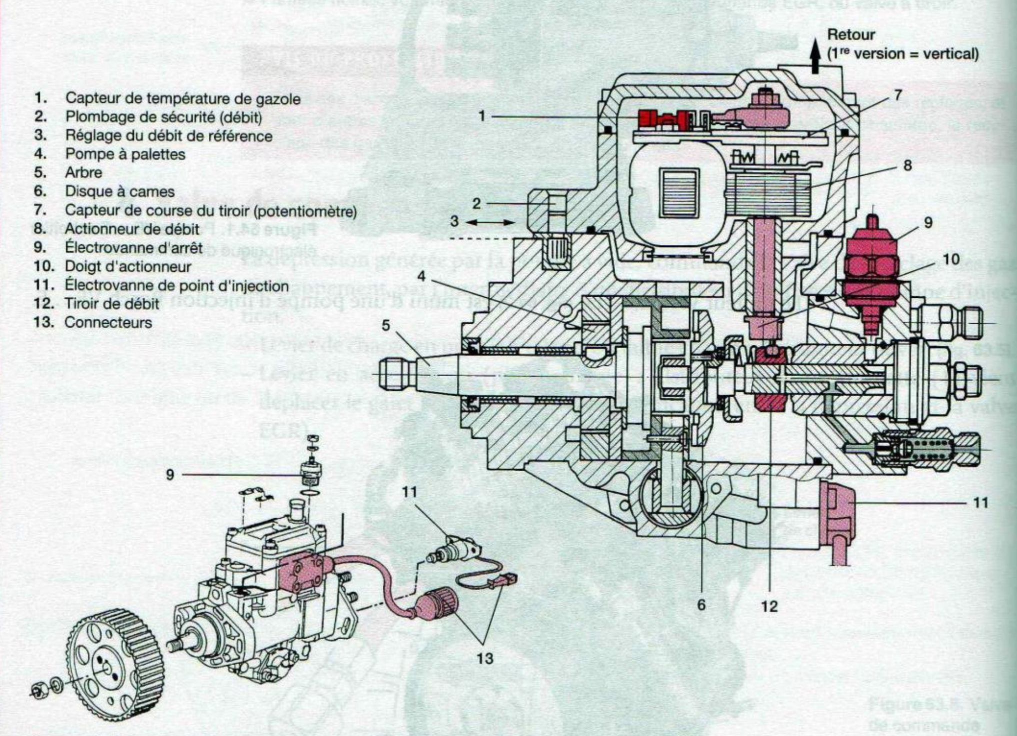


Figure 64.3. Pompe VE… E (régulation électronique), type « VP 15 »

3 Structure d'un système Bosch type « VP 15 »

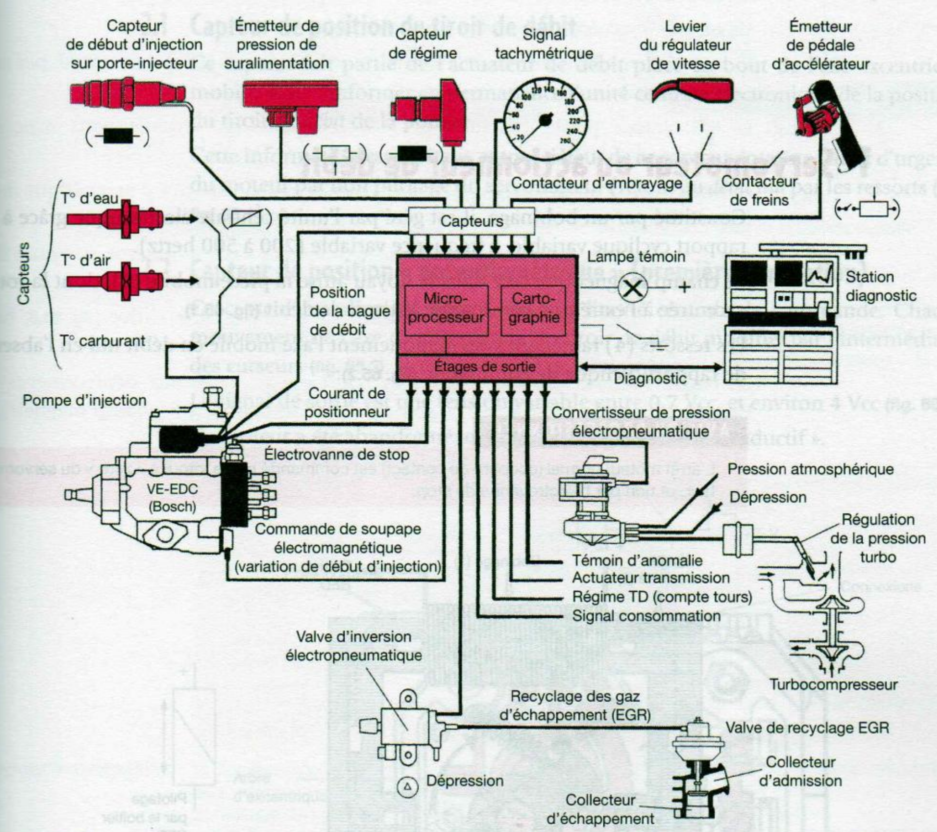


Figure 64.4. Structure d'un système de gestion électronique sur un véhicule diesel BMW avec pompe d'injection Bosch, type VE... E *(Doc. BMW)*

4 Évolutions principales des pompes à injection de type « VE... F » en type « VE... E »

La *pompe d'injection* Bosch VE... E est identique à la version VE... F dans tout ce qui constitue les circuits basse et haute pression du combustible.

La régulation électronique (servomoteur, **fig. 64.5**) et l'*électrovanne* de point d'injection ont permis la suppression d'un nombre important de composants, tels que : *régulation mécanique,* contacteurs divers, butée LDA, ADA (systèmes d'optimisation du *ralenti* et du point d'injection à froid et à chaud, boîtiers électroniques de pré/postchauffage, etc.).

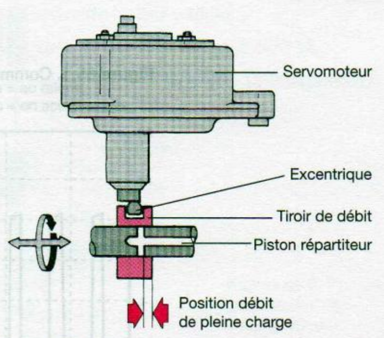


Figure 64.5. Commande du tiroir de débit sur pompe VE... E

Pompe Bosch type VE... E : constituants spécifiques

1 Servomoteur ou actionneur de débit

Constitué par un bobinage, il est géré par l'unité centrale électronique grâce à un rapport cyclique variable, à fréquence variable (200 à 500 hertz).

Le champ magnétique créé dans le noyau attire la pièce mobile (3), dont la rotule excentrée à l'extrémité commande le tiroir de débit **(fig. 65.1)**.

Les ressorts (4) ramènent systématiquement l'axe mobile en débit nul en l'absence de rapport cyclique de commande **(fig. 65.2)**.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- L'arrêt moteur normal (coupure de contact) est commandé par le retour à « zéro » du servomoteur, et non par l'électrovanne de stop.

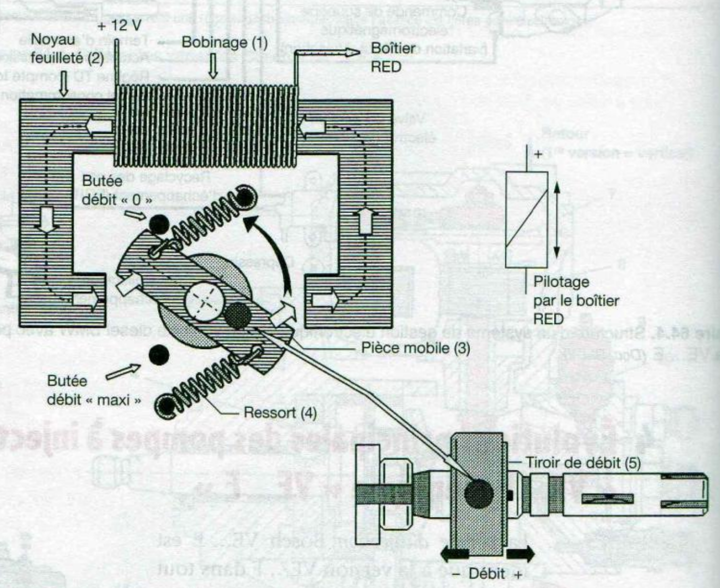


Figure 65.1. Commande du tiroir de débit par la rotule du servomoteur *(Doc. Bosch)*

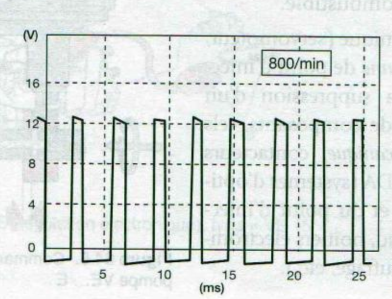


Figure 65.2. Signal de commande de l'actuateur de débit, à l'oscilloscope (moteur au régime de ralenti)

2 Capteurs

2.1 Capteur de position du tiroir de débit

Ce capteur fait partie de l'actuateur de débit placé en bout de l'axe excentrique mobile. Rôle : informer en permanence l'unité centrale électronique de la position du tiroir de *débit* de la pompe.

Cette information est capitale, et tout défaut de ce capteur entraîne l'arrêt d'urgence du moteur par non pilotage du servomoteur (retour au *débit nul* par les ressorts (4), **fig. 65.1**).

2.2 Capteur de position « potentiométrique » (première génération)

Ce capteur est alimenté sous 5 Vcc, par l'unité centrale de commande. Chaque mouvement de l'axe de commande du tiroir de débit modifie, par l'intermédiaire des curseurs **(fig. 65.3)**, la résistance du potentiomètre.

Le signal de sortie est une tension variable entre 0,7 Vcc, et environ 4 Vcc **(fig. 65.4)**.

Ce capteur a été abandonné, et remplacé par le modèle « inductif ».

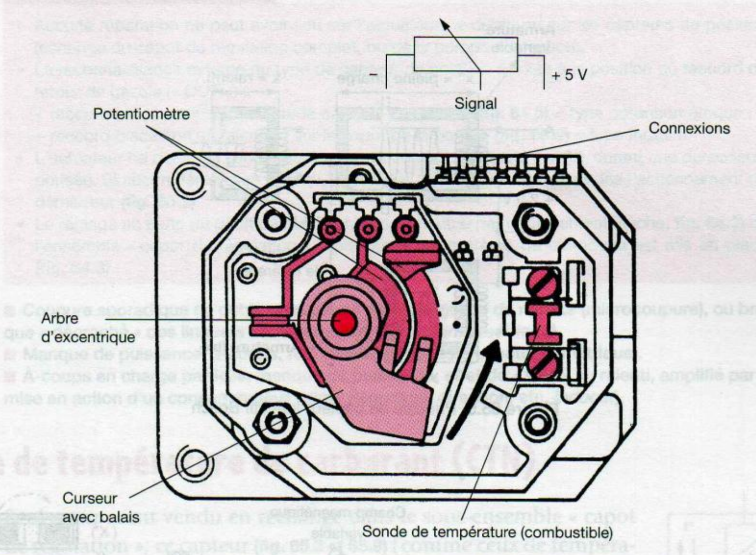


Figure 65.3. Vue de la partie supérieure de l'actuateur de débit sur une pompe *(Doc. Bosch)*

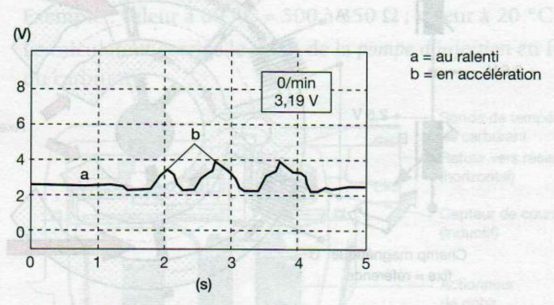


Figure 65.4. Signal du capteur potentiométrique « VE... E » vu à l'oscilloscope. Moteur en fonctionnement

2.3 Capteur de position inductif (dit : HDK) deuxième génération

• **Fonctionnement**

Ce capteur a succédé au système potentiométrique.

Deux bobines identiques sont alimentées, en leur point de liaison central, par une tension continue de + 2,5 V (point « B », **fig. 65.5**).

Le calculateur pilote chacune des extrémités de ces enroulements avec un déphasage de 180° à une fréquence d'environ 10 kHz.

Cette fréquence induit, dans chacun des enroulements, un champ magnétique dont l'amplitude dépend de la grandeur de l'armature métallique (**fig. 65.5**).

L'une des bobines (Y) appelée « bobine de référence » comporte une armature fixe (**fig. 65.6**).

Le champ magnétique induit est constant, et la tension alternative (**fig. 65.5**, bornes B et C) est appelée « signal de référence » (**fig. 65.7**).

La bague mobile, appelée « bague de court circuit » liée aux déplacements de l'actuateur de débit, fait varier la grandeur de l'armature (X), (champ magnétique induit variable) (**fig. 65.5 et 65.8**).

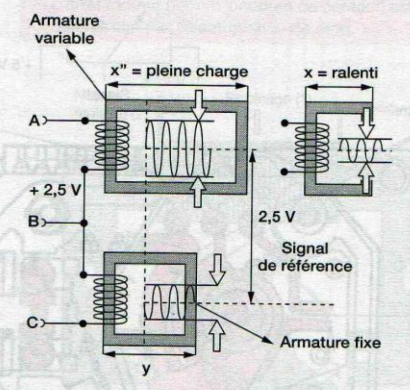


Figure 65.5. Principe du capteur inductif Bosch

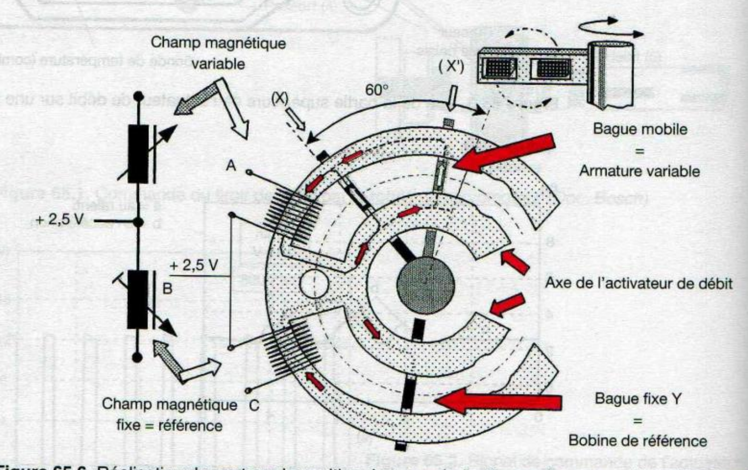


Figure 65.6. Réalisation du capteur de position de type « inductif » sur la pompe d'injection Bosch « VE… E » *(Doc. Bosch)*

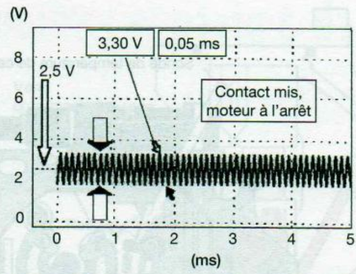


Figure 65.7. Signal de la bobine de référence

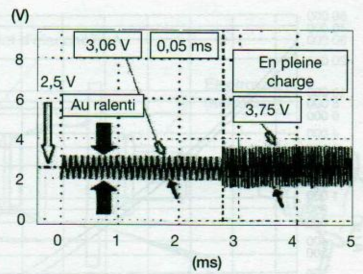


Figure 65.8. Signal de la bobine variable

Le calculateur compare, en permanence, le signal de référence, avec le signal de la bobine de mesure (variable), et reconnaît ainsi la position exacte, à tout instant, du tiroir de *débit* de la pompe d'injection. Ce type de capteur ne comporte aucune pièce d'usure, il est insensible aux vibrations (pas de frottements, contrairement à la version potentiométrique).

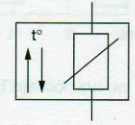
AVIS DU PROFESSIONNEL

- Aucune réparation ne peut avoir lieu sur l'actuateur de débit, ou sur les capteurs de position (échange du capot de régulation complet, ou de la pompe d'injection).
- La reconnaissance externe du type de capteur de position est liée à la position du raccord de retour de gazole (« OUT ») :
  - raccord placé verticalement sur le capot de la pompe **(fig. 64.3)** = type potentiométrique ;
  - raccord placé horizontalement sur le capot de la pompe **(fig. 65.9)** = type inductif.
- L'actuateur de débit est piloté dès la mise du contact (moteur à l'arrêt), durant une durée temporisée. Si aucun démarrage n'a lieu, le pilotage cesse, pour reprendre dès l'actionnement du démarreur **(fig. 65.2)**.
- Le réglage au banc du débit de pleine charge s'effectue par déplacement (flèche, **fig. 64.3**) de l'ensemble « capot de régulation ». Après quoi, un système de plombage est mis en place **(fig. 64.3)**.

Dysfonctionnements

■ Coupure sporadique de débit, entraînant l'arrêt d'urgence du moteur (microcoupure), ou brusque « décroché » des linguets de la piste *(capteur potentiométrique)*.
■ Manque de puissance, à-coups, redémarrage impossible (potentiométrique).
■ À-coups en charge partielle, manque de puissance, effet de « scie » au ralenti, amplifié par la mise en action d'un consommateur (clim., dégivrage, direction, etc. *inductif*).

3 Sonde de température de carburant (CTN)



Seul composant vendu en rechange dans le sous-ensemble « capot de régulation », ce capteur **(fig. 65.3 et 65.9)** (comme ceux de température d'air ou de moteur), est constitué par une résistance « CTN », dont la caractéristique est représentée par la courbe de la **figure 65.10**.

Exemple : valeur à 80 °C = 300 à 350 Ω ; valeur à 20 °C = 2 200 à 2 600 Ω.

Le calculateur corrige le débit de la *pompe d'injection* en fonction de la température du carburant.

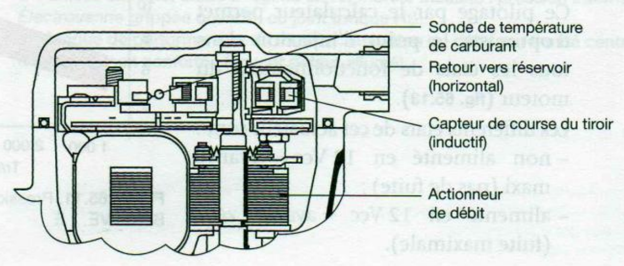
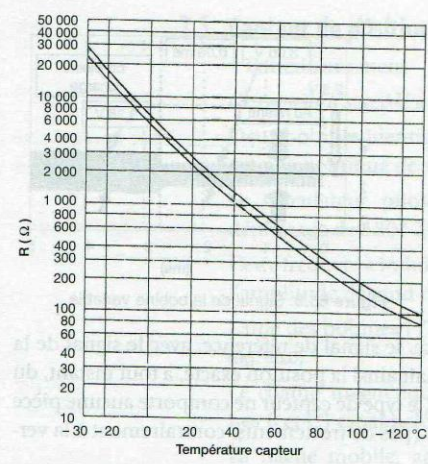


Figure 65.9. Pompe à injection « VE » version VP 37, à capteur de position « inductif »



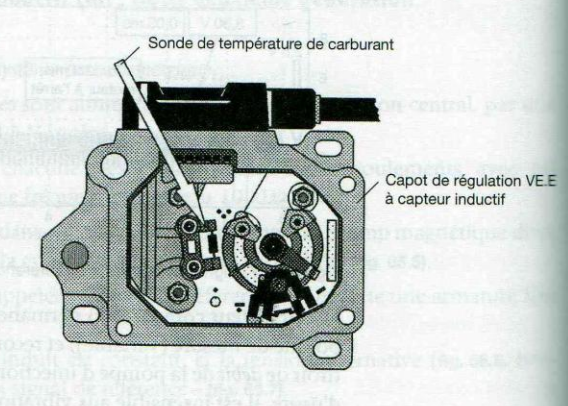


Figure 65.10. Courbe de résistance en fonction des températures sur une sonde « CTN » Bosch

Dysfonctionnements

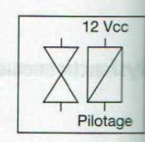
- Fumée noire légère en accélération.
- Léger manque de puissance.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Lors d'un dysfonctionnement de la sonde de température d'eau, le calculateur prend les valeurs de remplacement (mode secours), sur la sonde de température de carburant.

4 Électrovanne de commande du point d'injection

Cet actuateur, appelé « *électrovanne* de point d'injection », est piloté par le calculateur grâce à un rapport cyclique variable, sous deux fréquences distinctes, à tour de rôle (40 Hz, puis 50 Hz, puis 40 Hz, etc., **fig. 65.12**). Cette caractéristique permet d'éviter les éventuelles interactions avec les fréquences vibratoires du moteur.



Pour obtenir une gestion correcte du point d'injection dès le démarrage du moteur à froid (surcalage), deux particularités diffèrent par rapport à la *pompe d'injection* VE classique :
- la pression interne doit permettre, dès les faibles régimes de rotation, un déplacement maximal du vérin d'*avance* (**fig. 65.11**) ;
- le raccord de retour de gazole comporte un clapet taré, à la place d'un simple raccord « gicleur » sur la pompe VE… F.

Le pilotage de cet actuateur module la pression derrière le vérin d'avance (**fig. 65.11**), créant une fuite variable entre la partie pression et le côté retour vers l'aspiration.

Ce pilotage par le calculateur permet d'optimiser le point d'injection dans tous les états de fonctionnement du moteur (**fig. 65.13**).

Les différents états de cet actuateur sont :
- non alimenté en 12 Vcc = avance maxi (pas de fuite) ;
- alimenté en 12 Vcc = avance zéro (fuite maximale).

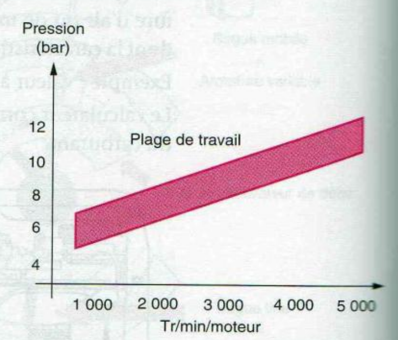


Figure 65.11. Pression interne dans une pompe Bosch VE… E

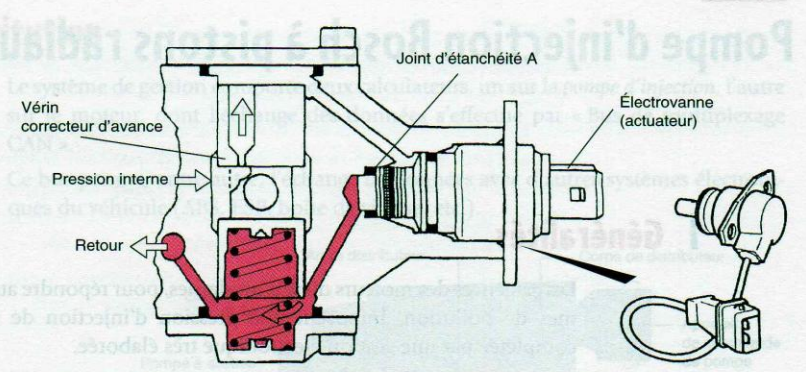


Figure 65.12. Circuit interne du pilotage de l'avance sur pompe à injection VE…E

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le calage initial de la pompe d'injection sur le moteur s'effectue le plus souvent de façon classique en statique à l'aide d'un comparateur (ou avec *arbre d'entraînement* bloqué (ne pas oublier de retirer ce blocage avant de mettre le moteur en marche) par un dispositif adapté, effectué dans une station diesel).
- La précision du point d'injection est liée au pilotage électronique de cette électrovanne, mais ne jamais oublier le paramètre « pression interne de pompe » sans lequel aucune gestion n'est possible ! (état du *circuit d'alimentation* du véhicule, et étanchéité entre le *carter de pompe* et le vérin d'*avance*).
- La non alimentation en fréquence de l'*électrovanne d'avance* par l'unité centrale électronique provoque un fort claquement moteur au *ralenti* et dans les charges partielles, le voyant défaut s'allume au tableau de bord.

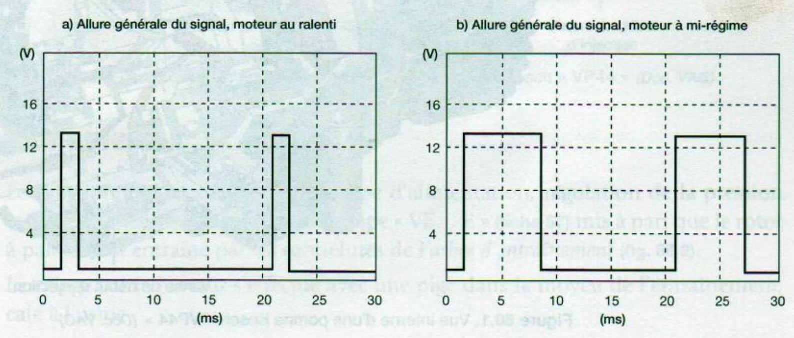


Figure 65.13. Visualisation des signaux de commande de l'électrovanne de point d'injection sur un oscilloscope

Dysfonctionnements

■ **Claquements, moteur bruyant à bas et moyens régimes : *électrovanne* défectueuse, connectique.**
■ **Fumées blanche, bleue à régime élevé, moteur instable : *pression* interne, pompe incorrecte. *Électrovanne* grippée ouverte, ou joint torique HS.**
■ **Manque de performances du moteur : limitation du débit par l'unité centrale suite à un point d'injection non conforme (voyant défaut allumé).**

66 ...

Pompe d'injection Bosch à pistons radiaux VP44

1 Généralités

Les exigences des moteurs diesels modernes, pour répondre aux évolutions des normes de pollution, imposent une pression d'injection de plus en plus élevée, complétée par une gestion électronique très élaborée.

La pompe distributrice Bosch « VP44 » à pistons radiaux **(fig. 66.1 et 66.2)** permet d'obtenir des *pressions* maximales de l'ordre de 1 500 bar (1 bar = 100 kPa).

Cette pompe est une « pompe de transition » permettant de répondre momentanément aux normes, pour les puissances petites et moyennes, en attendant les équipements « haute pression » comme le rail commun, ou l'*injecteur* pompe (**fiches 78 et 82, fig. 66.6**).

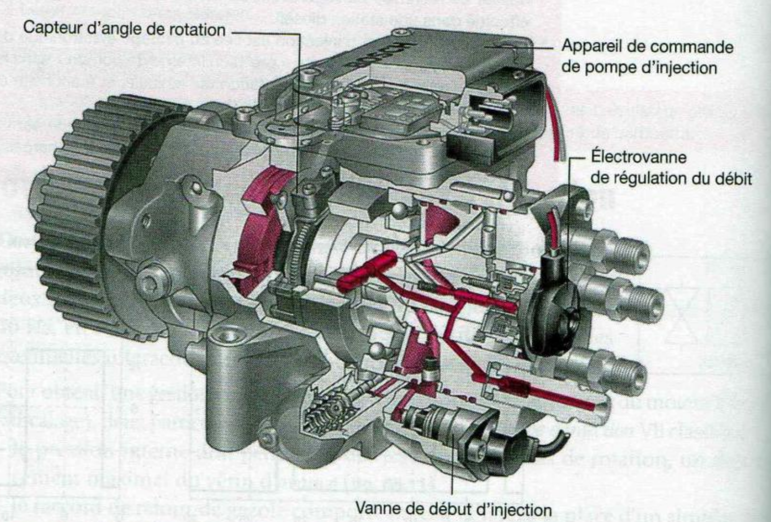
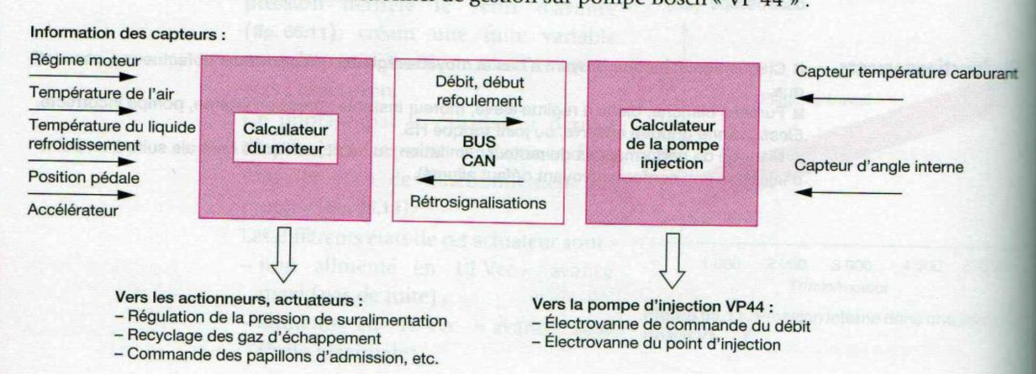


Figure 66.1. Vue interne d'une pompe Bosch « VP44 » *(Doc. VAG)*

Schéma fonctionnel de gestion sur pompe Bosch « VP 44 » :



2 Constitution

Le système de gestion comporte deux calculateurs, un sur la *pompe d'injection*, l'autre sur le moteur, dont l'échange des données s'effectue par « Bus de multiplexage CAN ».

Ce bus permet, entre autre, l'échange de données avec d'autres systèmes électroniques du véhicule (ABS, ESP, boîte de vitesse, etc.).

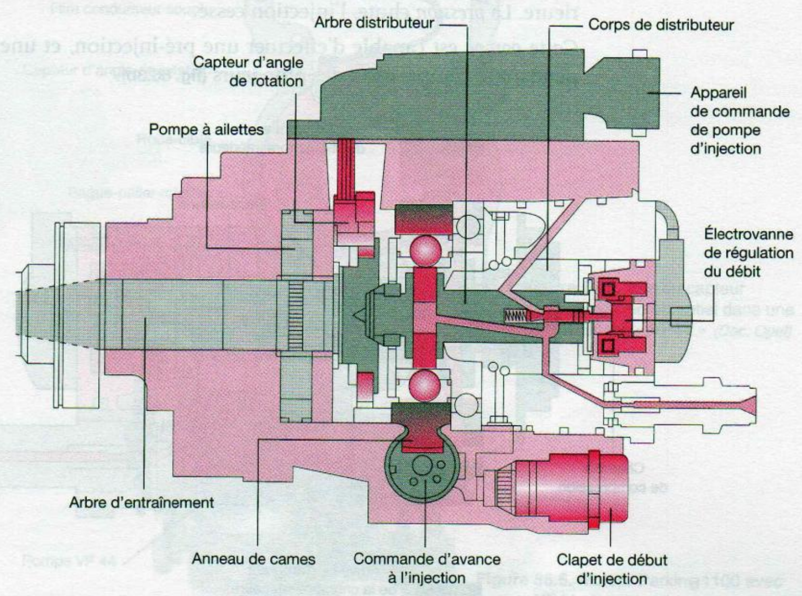


Figure 66.2. Vue du circuit interne du carburant sur une pompe Bosch « VP44 » *(Doc. VAG)*

3 Fonctionnement

Le fonctionnement de la partie pompe d'alimentation, régulation de la pression interne est identique à celui de la pompe « VE… E » **(fiche 57)** mis à part que le rotor à palettes est entraîné par les cannelures de l'*arbre d'entraînement* **(fig. 66.2)**.

Le calage sur le moteur s'effectue avec une pige dans le moyeu de l'entraînement, calé à l'usine.

3.1 Circuit haute pression

La génération de la haute pression s'effectue à l'aide de pistons « radiaux » au nombre de 2, 3 ou 4, selon le besoin en débit, logés dans le rotor distributeur **(fig. 66.4)**, ce qui est un principe connu sur les pompes distributrices « Delphi-Diesel » ou Stanadyne **(fiche 69)**.

3.2 Remplissage

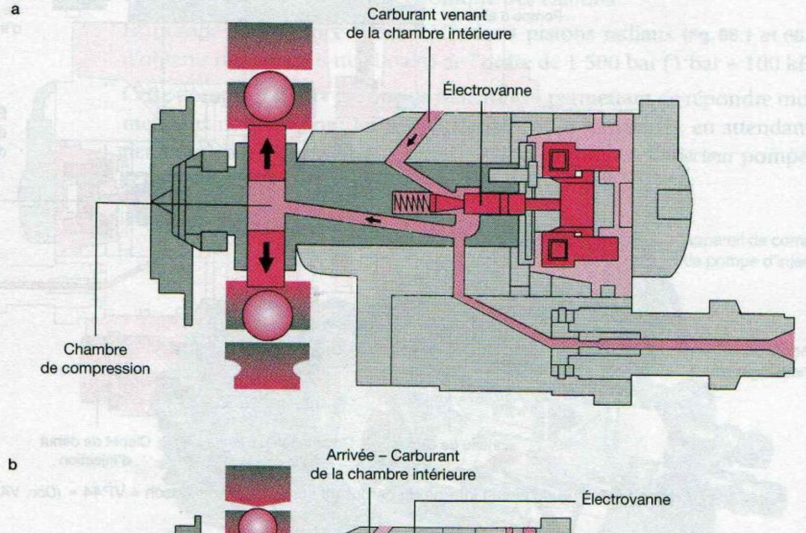
L'*électrovanne* de régulation du *débit* (1) est ouverte, le carburant passe de la chambre intérieure de la pompe dans la chambre de compression **(fig. 66.3a)**.

3.3 Injection

L'électrovanne de régulation du débit, pilotée par le calculateur de la pompe d'injection ferme l'arrivée de carburant.

Les galets du rotor entrent en contact avec les bossages de la came, les pistons radiaux sont ramenés l'un vers l'autre, le carburant est comprimé et refoulé en direction des *injecteurs*. Lorsque la quantité de carburant définie par le calculateur du moteur est atteinte, l'*électrovanne* ouvre l'arrivée de carburant de la chambre intérieure. La *pression* chute, l'injection cesse.

Cette *pompe* est capable d'effectuer une pré-injection, et une injection principale, pendant la compression des plongeurs **(fig. 66.3b)**.



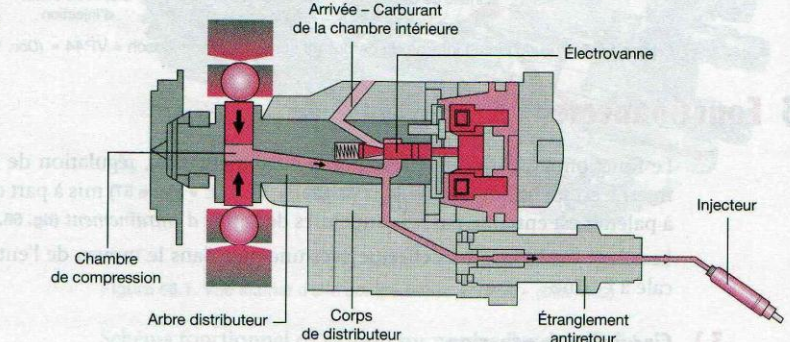


Figure 66.3. Circuit de carburant dans la tête hydraulique de la pompe VP44

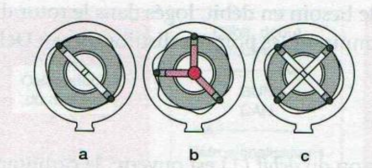


Figure 66.4. Pistons radiaux possibles dans un rotor d'une pompe Bosch « VP44 »

3.4 Point d'injection

La pompe VP44 est dotée d'un capteur d'angle de rotation, comprenant une roue calibrée dont chaque dent correspond à 3 °, interrompu par un repère par cylindre **(fig. 66.5)**.

Son rôle est de déterminer exactement l'angle de came pour lequel l'*électrovanne de débit* se ferme ou s'ouvre, et permet l'obtention de la phase pré-injection, ou dépendance de charge.

Comme dans la pompe VE, une *électrovanne d'avance* pilotée par le calculateur, commande le déplacement de la came.

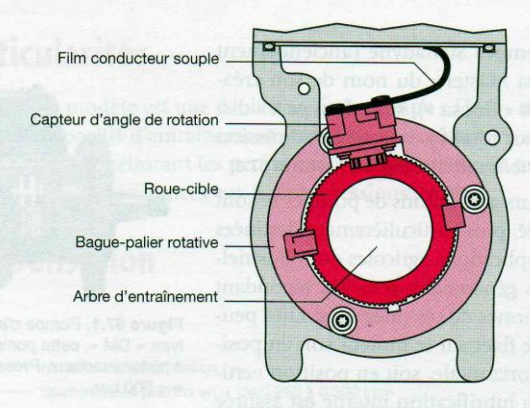


Figure 66.5. Vue du capteur angle/temps incrémentiel dans une pompe Bosch « VP44 » *(Doc. Opel)*

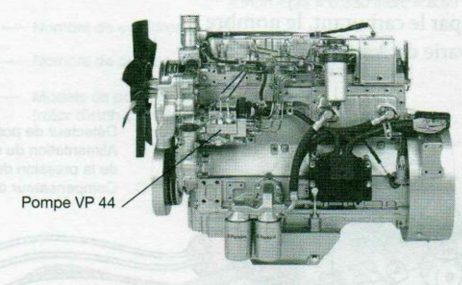


Figure 66.6. Moteur Perkins 1100 avec pompe VP44 *(Doc. Diesel Progress, november-december 2001)*

Dysfonctionnement

■ À-coups, mauvais démarrages, fumées sont possibles, et un autodiagnostic électronique est disponible pour connaître l'origine de la panne.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Ce type de pompe est transitoire, et n'est monté que sur peu de constructeurs, en attendant les moteurs nouveaux.
- L'échange standard est possible à l'origine Bosch mais la réparation est désormais effectuée dans les ateliers spécialisés.

67 Pompes d'injection Stanadyne

Les pompes Stanadyne (anciennement « Roosa Master » du nom de son créateur Mr « Roosa »), sont du type à « distributeur rotatif », dosage à l'admission et à *pistons* radiaux **(fig. 67.1, 67.2 et 67.3)**.

Plusieurs générations de pompes se sont succédé, plus particulièrement destinées aux applications agricoles ou industrielles, les générations actuelles répondant aux normes de ces catégories. Elles peuvent se fixer sur le moteur soit en position horizontale, soit en position verticale, la lubrification interne est assurée directement par le carburant, le nombre de *cylindres* varie de 2 à 8.

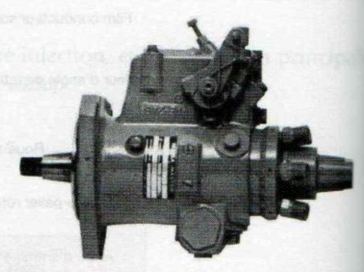


Figure 67.1. Pompe d'injection « Stanadyne » type « DM », cette pompe comporte 2 ou 4 pistons radiaux. Pressions maximales = < 600 bar.

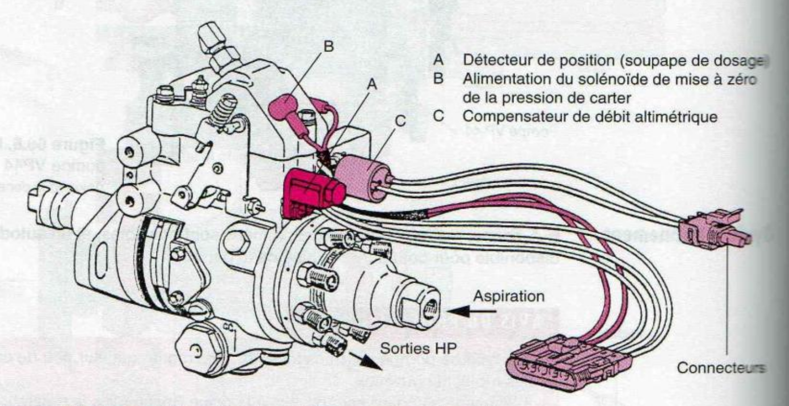


Figure 67.2. Pompe Stanadyne type « DB2 » version automobile



Figure 67.3. Nouvelle pompe Stanadyne électronique type « DE »

Pompes Stanadyne de type « DB »

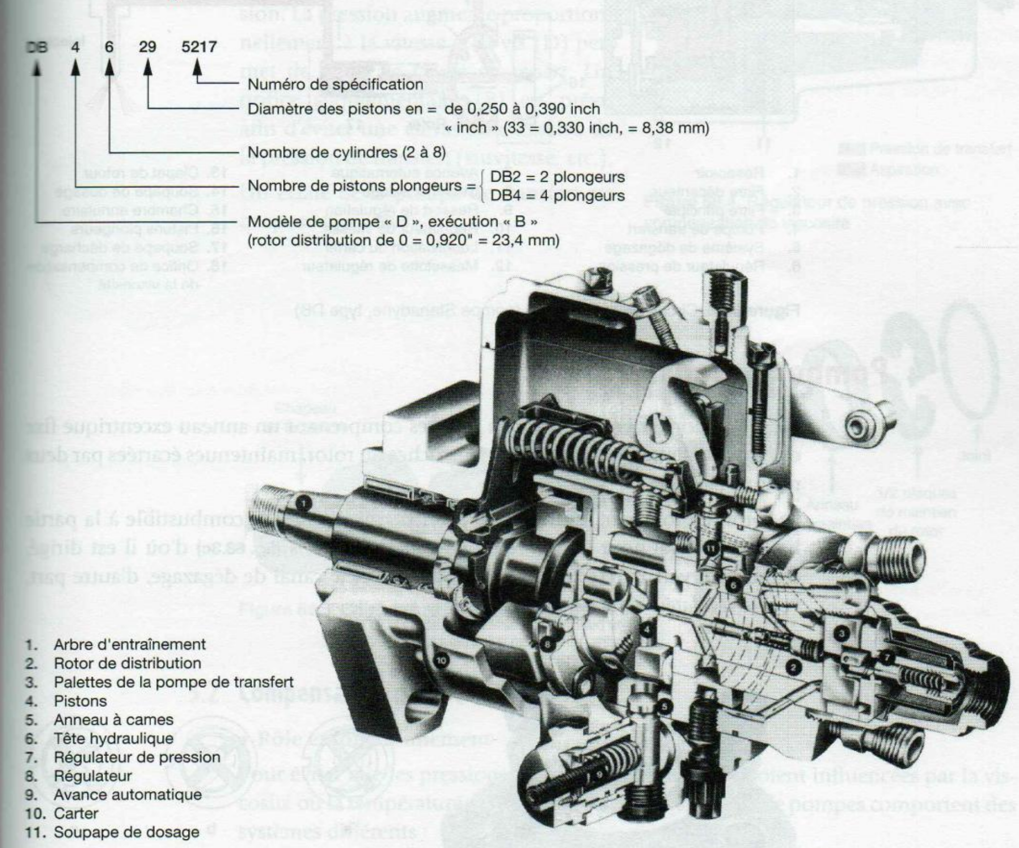
1 Particularités

Ce modèle est une évolution de la pompe « DM », muni d'un *carter* renforcé, d'un dispositif d'entraînement porté par un *roulement à aiguilles*, de diverses modifications améliorant les performances, notamment en matière de lutte contre la pollution, et résistances aux hautes pressions **(fig. 68.1)**.

2 Symbolisation

DB 4 6 29 5217

- 5217 : Numéro de spécification
- 29 : Diamètre des pistons en = de 0,250 à 0,390 inch « inch » (33 = 0,330 inch, = 8,38 mm)
- 6 : Nombre de cylindres (2 à 8)
- 4 : Nombre de pistons plongeurs = DB2 = 2 plongeurs ; DB4 = 4 plongeurs
- DB : Modèle de pompe « D », exécution « B » (rotor distribution de 0 = 0,920" = 23,4 mm)



1. Arbre d'entraînement
2. Rotor de distribution
3. Palettes de la pompe de transfert
4. Pistons
5. Anneau à cames
6. Tête hydraulique
7. Régulateur de pression
8. Régulateur
9. Avance automatique
10. Carter
11. Soupape de dosage

Figure 68.1. Pompe Stanadyne type « DB4 » (4 pistons) à carter renforcé et roulement à aiguilles sur l'arbre

Dysfonctionnement

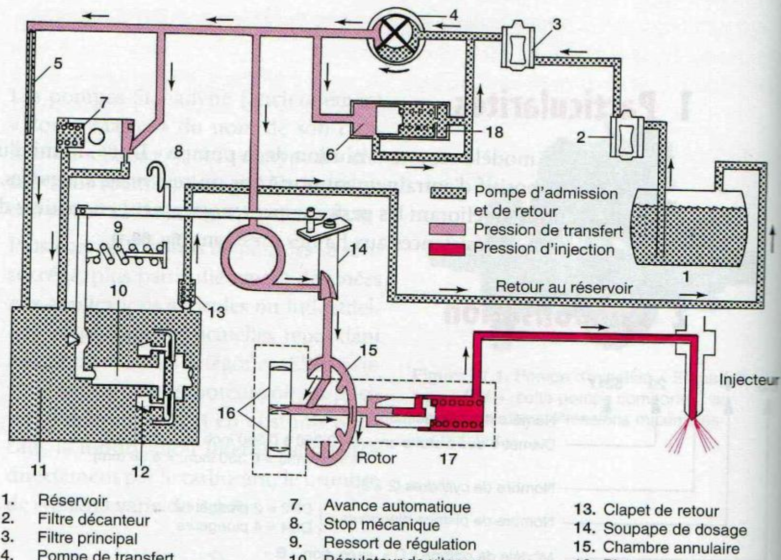
- La plupart des problèmes sont liés à de mauvais carburants.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Cette *pompe d'injection* est résistante, malgré le milieu dans lequel elle est employée, et les qualités quelquefois médiocres des carburants (présence d'eau, soufre, etc.).

3 Circuit du combustible

Il est identique à celui de la pompe DM avec certaines particularités **(fig. 68.2)**.



1. Réservoir
2. Filtre décanteur
3. Filtre principal
4. Pompe de transfert
5. Système de dégazage
6. Régulateur de pression
7. Avance automatique
8. Stop mécanique
9. Ressort de régulation
10. Régulateur de vitesse
11. Lubrification du carter
12. Masselotte de régulateur
13. Clapet de retour
14. Soupape de dosage
15. Chambre annulaire
16. Pistons plongeurs
17. Soupape de décharge
18. Orifice de compensation de la viscosité

Figure 68.2. Circuit de combustible (pompe Stanadyne, type DB)

4 Pompe de transfert

C'est une pompe volumétrique à palettes comprenant un anneau excentrique fixe et 4 demi-palettes longées dans les encoches du rotor, maintenues écartées par deux ressorts **(fig. 68.3)**.

Le rotor, en tournant, entraîne les palettes qui aspirent le combustible à la partie haute **(fig. 68.3a)** pour le mettre en *pression* vers le bas **(fig. 68.3c)** d'où il est dirigé, d'une part, vers la tête hydraulique, l'avance et le canal de dégazage, d'autre part, vers le *régulateur de pression*.



Figure 68.3. Pompe à palettes

5 Régulateur de pression

5.1 Rôle et fonctionnement

Son rôle est de fournir une *pression* réglable, régulée et stable en fonction de la *vitesse* de rotation de la pompe, et de la viscosité du combustible.

Sur la **figure 68.4**, le sens des flèches indique le mouvement du carburant lorsque la pompe est en rotation. L'aspiration s'effectue à l'extrémité du couvercle, passage à travers le tamis, admission dans la pompe à palettes vers le haut, puis mise en pression vers le bas.

Le combustible vient alors appuyer sur le *piston* de régulation et sur son *ressort* qui, lors d'une augmentation de *débit*, se déplace et découvre l'orifice (A) ; le liquide est ainsi recyclé vers l'admission. La pression augmente proportionnellement à la vitesse et la vis (D) permet de régler le *tarage du ressort*. Un orifice supplémentaire (B) est prévu afin d'éviter une élévation excessive de la pression de transfert (survitesse, etc.).

Un éclaté de la pompe de transfert est proposé **figure 68.5**.

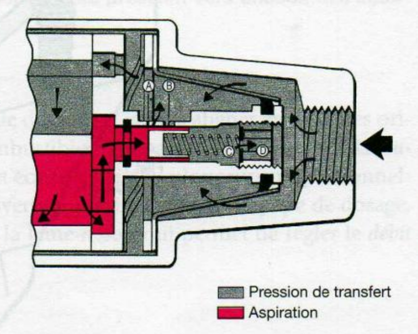


Figure 68.4. Régulateur de pression avec compensation de viscosité

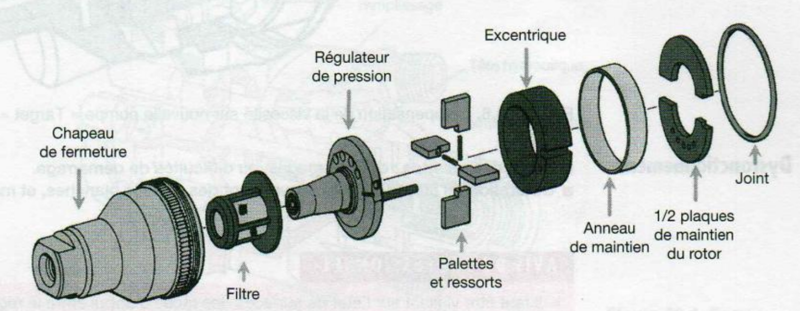


Figure 68.5. Composants de la pompe de transfert

5.2 Compensation de viscosité

- **Rôle et fonctionnement**

Pour éviter que les pressions internes de la pompe ne soient influencées par la viscosité ou la température du carburant, deux générations de pompes comportent des systèmes différents :

- un disque mince (C) a été ajouté dans la vis de réglage (D). Ce disque comporte un orifice à bords effilés et permet aux fuites du *piston* de retourner à l'admission (pompes DM, et DB) **(fig. 68.4)** ;
- un gicleur calibré est incorporé dans le circuit de retour de fuites dans le *carter* (pompes « TARGET ») **(fig. 68.6)**.

La pression à l'arrière du piston est donc fonction du jeu entre piston et *chemise* et de la chute de pression par l'orifice calibré.

Si le combustible est visqueux ou froid, une fuite très petite existe entre l'alésage et le piston ; la force additionnelle sur l'arrière du piston est faible.

Si le combustible est chaud ou très fluide, la fuite devient plus importante mais le débit de l'orifice calibré reste le même, quelle que soit la *viscosité* du combustible.

Une pression X se crée, venant assister le *ressort* de régulation réduisant ainsi l'ouverture de l'orifice A **(fig. 68.4)** ; la pression de transfert reste donc constante, quelle que soit la température ou la *viscosité* du combustible.

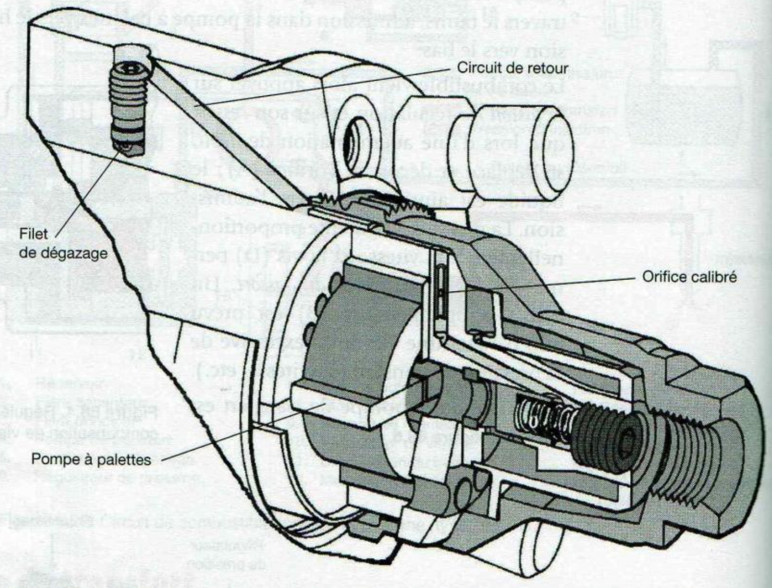


Figure 68.6. Compensation de la viscosité sur nouvelle pompe « Target » *(Doc. Stanadyne)*

Dysfonctionnements

- **Usure des palettes : désamorçages, ou difficultés de démarrage.**
- **Obturation du *filtre d'arrivée*, provoquant des fumées blanches, et manque de puissance.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Il faut être vigilant sur l'état de surfaces des faces d'appui entre le *régulateur* de pression et la pompe à palettes, et le couple de serrage du fourreau, pour éviter les désamorçages.
- La compensation de *viscosité* permet de garder une bonne stabilité des pressions, même en cas d'emploi de carburants à faible viscosité (certains kérosènes par exemple).

Bloc hydraulique

1 Fonctionnement

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Le bloc hydraulique est chargé de générer un *débit* précis, variable, réglable, de le distribuer à haute pression vers chacun des *injecteurs* du moteur, à un instant précis.

1.1 Remplissage

Lorsque le rotor tourne, le canal oblique de celui-ci vient s'aligner avec un des orifices d'admission **(fig. 69.1 et 69.2)**. Le combustible étant passé par la rainure de la *soupape* de dosage, pénètre dans ce canal et écarte les *pistons* plongeurs proportionnellement au volume admis. Pour une ouverture maximale de la soupape de dosage, l'écartement des pistons est limité par la lame-*ressort* qui permet de régler le *débit maximal* de la pompe **(fig. 69.6)**.

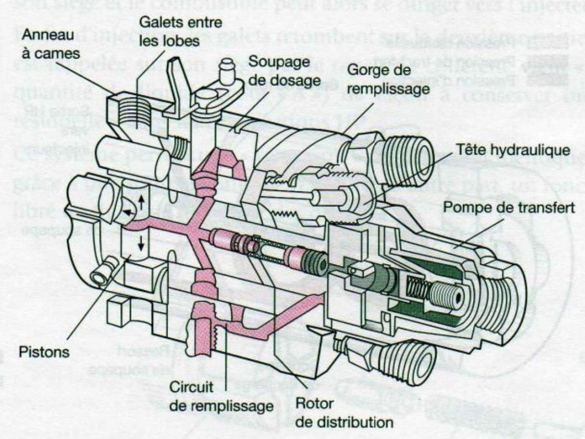


Figure 69.1. Pompe DB4 : le remplissage

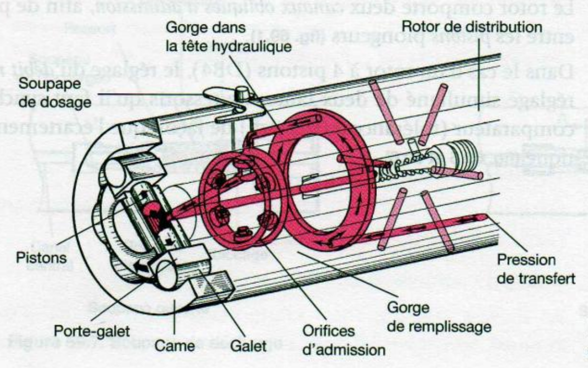


Figure 69.2. Rotor en position remplissage

1.2 Refoulement

Le rotor continuant sa rotation, la communication entre un orifice d'admission et le canal oblique est coupée **(fig. 69.3 et 69.4)**.

Le canal de refoulement vient découvrir une des sorties HP vers un *injecteur*, alors qu'au même instant, les galets entrent en contact avec les bossages de la came, repoussant les pistons plongeurs l'un vers l'autre. Le combustible est refoulé en passant par la *soupape de décharge* et le canal de sortie.

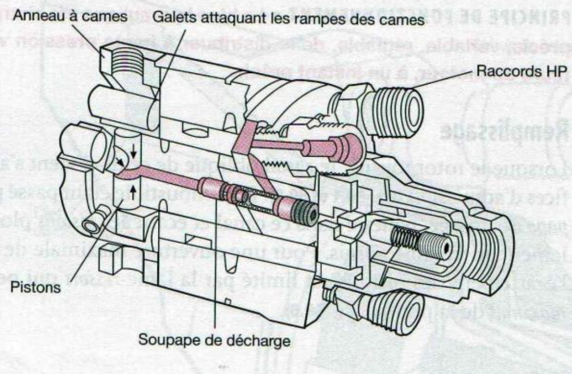


Figure 69.3. Pompe DB4 : le refoulement

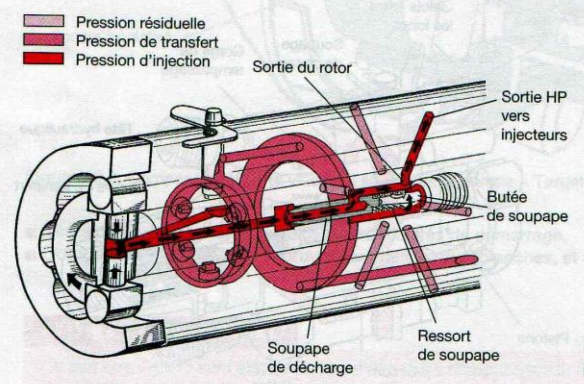


Figure 69.4. Rotor en position de refoulement

1.3 Rotor

Le rotor comporte deux *canaux obliques d'admission*, afin de parfaire le remplissage entre les *pistons* plongeurs **(fig. 69.1)**.

Dans le cas d'un rotor à 4 pistons (DB4), le réglage du *débit maxi* est obtenu par le réglage simultané de deux lames de ressorts qu'il faut synchroniser à l'aide d'un comparateur (tolérance 0,075 mm) de façon que l'écartement des galets soit identique **(fig. 69.5 et 69.6)**.

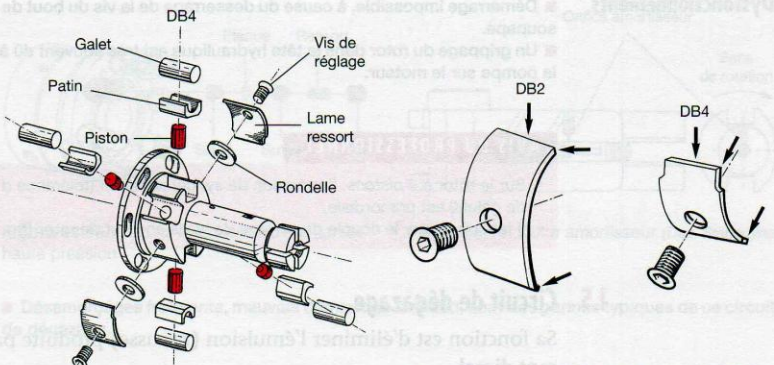


Figure 69.5. Rotor à 4 pistons

Figure 69.6. Détail des lames de ressort DB2 et DB4

1.4 Soupape de décharge

Son rôle consiste à réduire la *pression* dans les canalisations HP aussitôt après l'injection afin d'assurer la fermeture de l'*injecteur* ; c'est la « rétraction » **(fig. 69.7)**.

Cette soupape coulisse dans un alésage entre deux butées situées à l'intérieur du canal central du rotor. Au moment de l'injection, la pression soulève la soupape de son siège et le combustible peut alors se diriger vers l'injecteur.

En fin d'injection, les galets retombent sur la deuxième partie de la came, la *soupape* est rappelée sur son siège par le *ressort*, la collerette vient « réaspirer » une petite quantité de liquide (cote « A ») de façon à conserver une certaine « pression résiduelle » dans les canalisations HP.

Ce système permet une « rétraction » parfaitement identique sur tous les cylindres grâce à une soupape unique. Il permet, d'autre part, un fonctionnement très équilibré du moteur (régularité des débits).

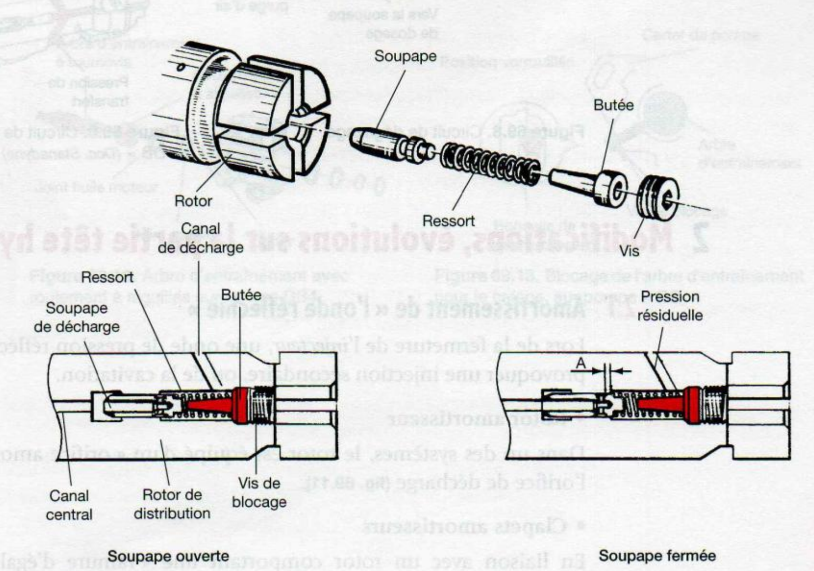


Figure 69.7. Soupape de décharge

Dysfonctionnements

- Démarrage impossible, à cause du desserrage de la vis du bout de rotor, ou du grippage de la soupape.
- Un grippage du rotor dans la tête hydraulique est très souvent dû à un défaut d'alignement de la pompe sur le moteur.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Sur le rotor à 4 *pistons*, l'opération de synchronisation (tolérance d'écartements des 2 parties de galets) est primordiale.
- Il faut respecter le couple de serrage de la vis en bout de rotor **(fig. 69.7)**.

1.5 Circuit de dégazage

Sa fonction est d'éliminer l'émulsion (mousse) produite par le brassage du carburant diesel.

Toute entrée d'air admise accidentellement risque de provoquer le désamorçage de la pompe.

Pour pallier cette éventualité, un canal (1) est usiné à la partie supérieure de la tête hydraulique. Ce canal est en communication avec la pompe de transfert et débouche dans le *carter de pompe* (circuit de retour) **(fig. 69.8)**. La section de passage est réduite par des aiguilles ou un gicleur avec un fil **(fig. 69.9)**, transformant l'émulsion en gouttes de carburant.

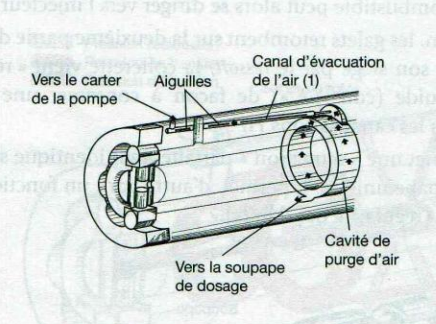


Figure 69.8. Circuit de dégazage

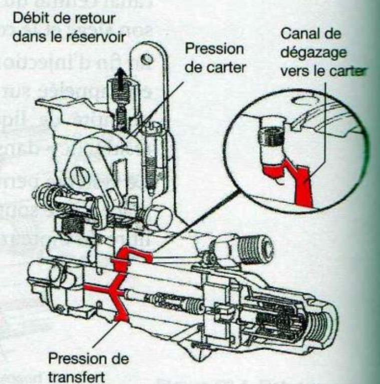


Figure 69.9. Circuit de dégazage sur pompe « DB » *(Doc. Stanadyne)*

2 Modifications, évolutions sur la partie tête hydraulique

2.1 Amortissement de « l'onde réfléchie »

Lors de la fermeture de l'*injecteur*, une onde de pression réfléchie apparaît, et peut provoquer une injection secondaire, ou de la cavitation.

- **Rotor amortisseur**

Dans un des systèmes, le rotor est équipé d'un « orifice amortisseur » situé après l'orifice de décharge **(fig. 69.11)**.

- **Clapets amortisseurs**

En liaison avec un rotor comportant une « rainure d'égalisation des débits » **(fiche 45)**, les clapets HP font office d'amortisseurs **(fig. 69.10)**.

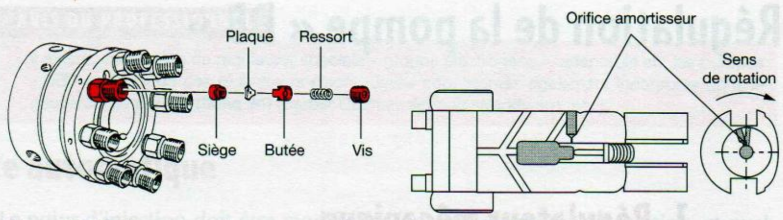


Figure 69.10. Clapets amortisseurs sur sorties haute pression

Figure 69.11. Rotor amortisseur *(Doc. Stanadyne)*

Dysfonctionnement

- **Désamorçages fréquents, mauvais démarrage à chaud, sont des pannes typiques de ce circuit de dégazage.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Lors d'une réparation, il faut toujours vérifier que les aiguilles sont libres **(fig. 69.8)**, ou le gicleur de dégazage **(fig. 69.9)** non obturé. Le débit de retour est un élément permettant de vérifier ce circuit.

2.2 Arbre d'entraînement

L'arbre entraîne le rotor de tête hydraulique, en liaison avec le système de distribution du moteur **(fig. 69.12)**.

Il est renforcé, et maintenu soit par un roulement à billes (pompe « DM »), soit par un roulement à aiguilles (pompe « DB »).

Les deux joints à lèvres (l'un pour empêcher l'huile moteur de rentrer dans la pompe, l'autre pour isoler le carburant) sont placés derrière le roulement, qui reste lubrifié par l'huile moteur.

Calage de la pompe sur le moteur : certains équipements comportent une vis de « blocage » de l'arbre d'entraînement pour faciliter le calage sur le moteur **(fig. 69.13)**.

Attention à enlever ce blocage avant le démarrage !!!

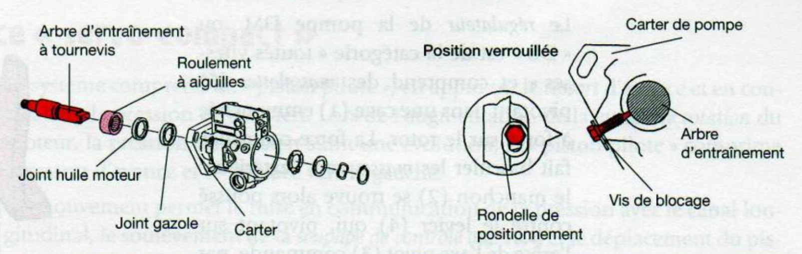


Figure 69.12. Arbre d'entraînement avec roulement à aiguilles sur pompe DB4

Figure 69.13. Blocage de l'arbre d'entraînement pour le calage, sur pompe « DB »

Régulation de la pompe « DB »

1 Régulateur mécanique

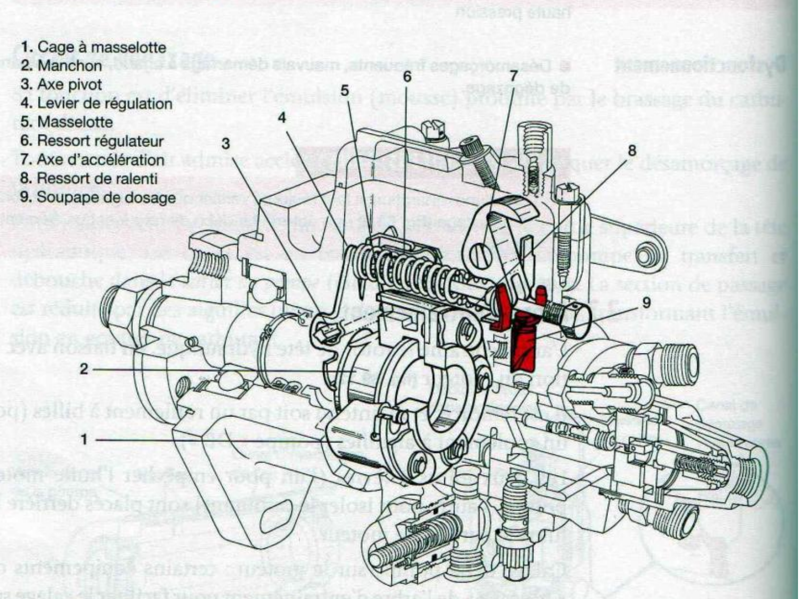


Figure 70.1. Régulateur mécanique de la pompe DM et DB

Le *régulateur* de la pompe DM, ou « DB » est de la catégorie « toutes vitesses » et comprend des *masselottes* (5) pivotant dans une cage (1) emmanchée à force sur le rotor. La force centrifuge fait basculer les *masses* vers l'extérieur ; le manchon (2) se trouve alors poussé contre le levier (4) qui, pivotant sur l'arête de l'axe pivot (3) commande, par l'intermédiaire d'une tringlerie, la *soupape* de dosage (9) **(fig. 70.1 et 70.2)**.

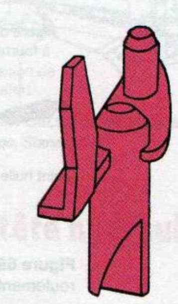


Figure 70.2. Soupape de dosage de la pompe DM, et DB 2/4

La *vitesse de régulation* dépend de la tension du ressort principal (6) commandée par le levier et l'axe d'accélération.

Le débit fourni par la soupape de dosage sera donc la résultante entre la *force centrifuge* (vitesse de rotation) et la position du levier d'accélération (tension du *ressort*).

Dysfonctionnement

- **Tête hydraulique cassée, par mauvais alignement de la pompe sur le moteur.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Il existe une version de régulateur spéciale « groupe électrogène », adaptable sur les pompes « DB3 ou DM » où des *régulateurs électroniques* sont montés également incorporés dans le couvercle de pompe **(fiche 94)** (Barber Colman, Ambac, Woodward, etc.).

2 Avance automatique

Le point d'injection doit être modifié en fonction du régime de rotation, et quelquefois de la charge appliquée au moteur.

Le *vérin d'avance* est commandé par la *pression de transfert* et provoque, lorsque cette pression est supérieure au tarage du ressort, un déplacement de l'anneau à cames à l'opposé du sens de rotation du rotor, à l'aide d'un axe de liaison **(fig. 70.3)**.

Une vis extérieure permet de régler la tension initiale du *ressort*. Suivant le sens de rotation de la pompe, cette *vis de réglage* peut être située d'un côté ou de l'autre du *boîtier d'avance*.

Un *clapet* empêche la tendance normale de retour de l'anneau à cames à chaque contact des galets sur les bossages.

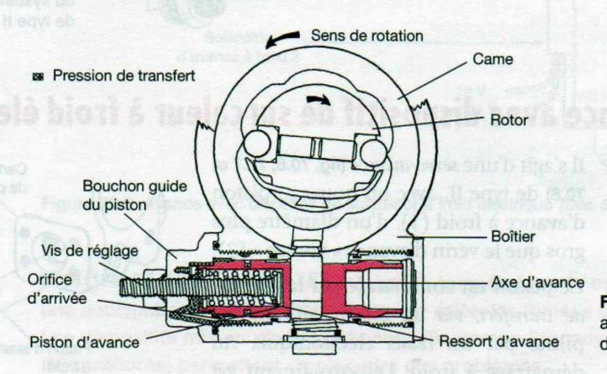


Figure 70.3. Avance automatique en fonction de la vitesse de rotation

3 Avance « servo-compact »

Le système comprend un « piston pilote », en appui sur le *ressort* d'avance et en contact avec la pression de transfert. Lors de l'augmentation de la *vitesse de rotation* du moteur, la pression de transfert subit une évolution, le « piston pilote » comprime le ressort d'avance et se déplace vers la gauche.

Ce mouvement permet la mise en communication de la pression avec le canal longitudinal, le soulèvement de la *soupape de contrôle* **(fig. 70.4)** et le déplacement du piston d'avance **(fig. 70.5)** vers la gauche également (modification du point d'injection) jusqu'à une nouvelle position stable (fermeture du canal, par le « piston pilote »).

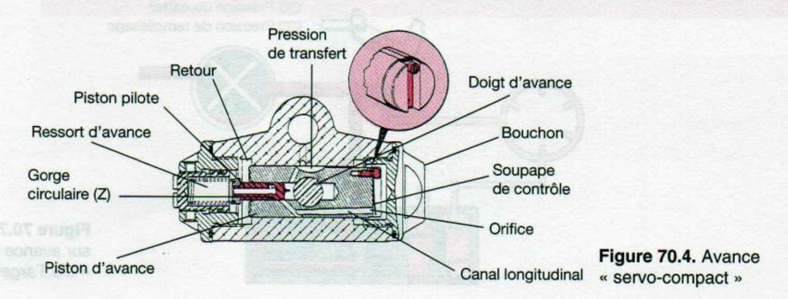


Figure 70.4. Avance « servo-compact »

Avance décroissante : la chute de *pression de transfert* permet le déplacement vers la droite du « piston pilote », l'évacuation du combustible vers le retour étant assurée par la communication de la gorge circulaire (Z) et l'orifice central du « piston pilote » **(fig. 70.4)** avec le canal longitudinal.

Avantage : ce dispositif permet, tout en assurant une réaction rapide et précise du piston d'avance aux modulations de pression, de réduire les instabilités dues aux variations de charge sur l'anneau à cames.

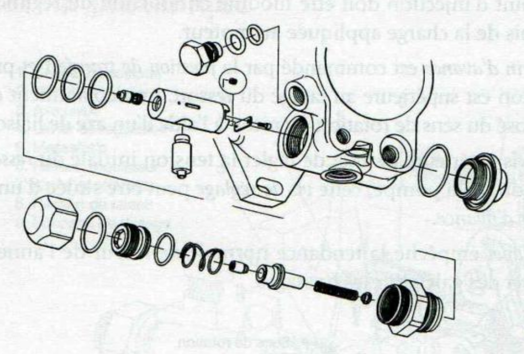


Figure 70.5. Constituants du système de servo-avance de type II *(Doc. Stanadyne)*

4 Avance avec dispositif de surcaleur à froid électrique

Il s'agit d'une *servo-avance* **(fig. 70.6, 70.7 et 70.8)** de type II, avec un nouveau piston d'avance à froid (1), d'un diamètre plus gros que le vérin d'avance « vitesse » (2).

Ce piston est commandé par la *pression de transfert, via* un électro-aimant (3) piloté par un *relais* électronique. Au démarrage à froid, l'électro-aimant est commandé, et permet à la pression de transfert de pousser sur le *piston d'avance* à froid (1) ; le point d'injection de la pompe est avancé d'une valeur prévue par le constructeur.

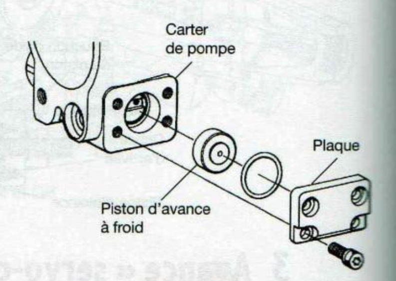


Figure 70.6. Piston d'avance à froid *(Doc. Stanadyne)*

Lorsque le moteur est arrivé à la température prévue, l'électro-aimant est désactivé, le point d'injection reprend ainsi la valeur normale, moteur chaud.

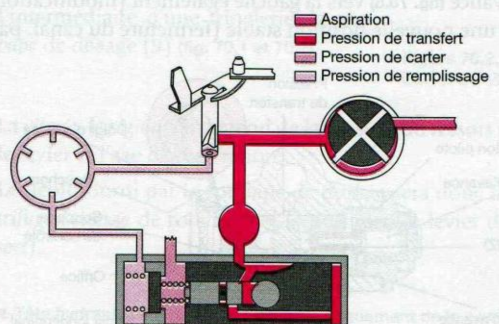


Figure 70.7. Circuit de carburant sur avance de la pompe Stanadyne « DB Target »

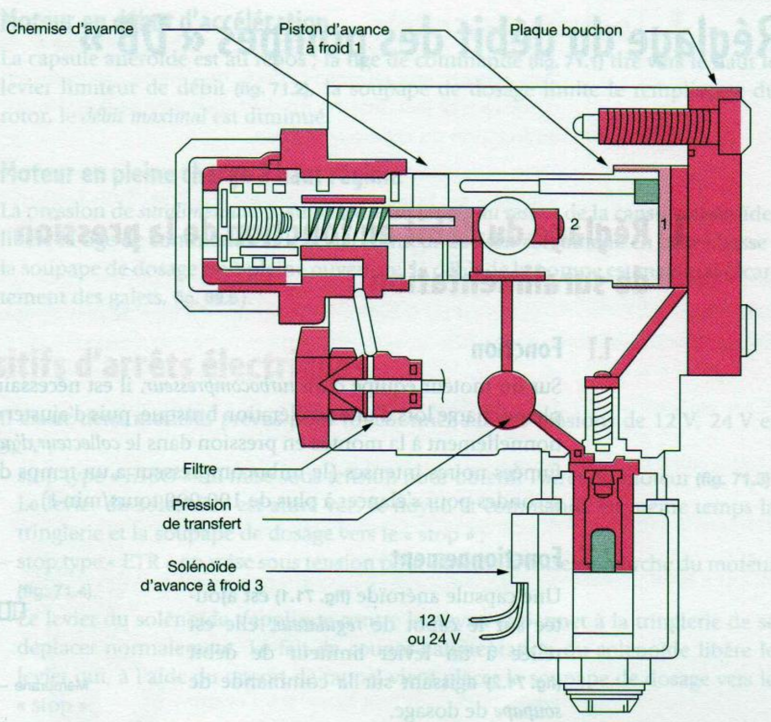


Figure 70.8. Avance avec dispositif de surcaleur à froid électrique *(Doc. Stanadyne)*

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • **À basse température, le moteur diesel nécessite une anticipation du point d'injection, pour éviter les fumées et la pollution. Les dispositifs mis en place sur la nouvelle pompe Stanadyne « TARGET » (pompe DB améliorée) permettent de résoudre ces problèmes.**

Dysfonctionnements

- **Fumées, manque de puissance, mauvais démarrages, sont les pannes rencontrées sur les systèmes d'avance.**
- **Les causes sont très souvent liées à un problème du carburant (présence d'eau, boues, biocarburant, etc.). Sur ces équipements industriels et agricoles, la qualité de stockage étant souvent précaire !**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La précision et l'optimisation du point d'injection sont une des données importante pour lutter contre la pollution.
- La pompe Stanadyne a beaucoup évolué à ce niveau sur la dernière génération « DB Target ».

Réglage du débit des pompes « DB »

1 Réglage du débit en fonction de la pression de suralimentation

1.1 Fonction

Sur un moteur équipé d'un *turbocompresseur*, il est nécessaire de limiter le *débit* de pleine charge lors d'une accélération brusque, puis d'ajuster ensuite celui-ci proportionnellement à la montée en pression dans le *collecteur d'admission*, pour éviter les fumées noires intenses (le turbocompresseur a un temps de réponse de quelques secondes pour s'élancer à plus de 100 000 tours/min !).

1.2 Fonctionnement

Une capsule anéroïde **(fig. 71.1)** est ajoutée sur le capot de *régulateur*, elle est reliée à un levier limiteur de débit **(fig. 71.2)** agissant sur la commande de *soupape* de dosage.

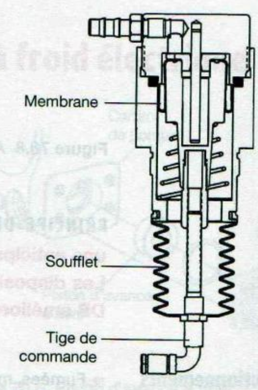


Figure 71.1. Capsule anéroïde Stanadyne

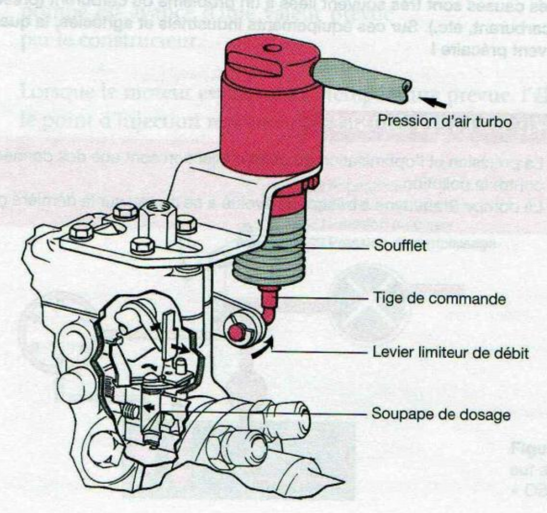


Figure 71.2. Dispositif limiteur de débit sur pompe « DB »

1.3 Moteur en début d'accélération

La capsule anéroïde est au repos ; la tige de commande (fig. 71.1) tire vers le haut le levier limiteur de débit (fig. 71.2), la soupape de dosage limite le remplissage du rotor, le *débit maximal* est diminué.

1.4 Moteur en pleine charge à haut régime

La pression de *suralimentation*, supérieure au *tarage du ressort* de la capsule anéroïde, libère la tige de commande et le levier limiteur de *débit* est ramené en butée basse ; la soupape de dosage est à pleine ouverture, le débit de la pompe est maximal (écartement des galets, fig. 69.6).

2 Dispositifs d'arrêts électriques

Il existe deux modèles prévus pour fonctionner sur des tensions de 12 V, 24 V et 32 V :

- stop type « ETSO » ou mise sous tension pour obtenir l'arrêt du moteur (fig. 71.3). Le levier du solénoïde est attiré vers le noyau et commande en même temps la tringlerie et la soupape de dosage vers le « stop » ;
- stop type « ETR » ou mise sous tension pour obtenir la mise en marche du moteur (fig. 71.4).
  Le levier du solénoïde s'applique contre le noyau et permet à la tringlerie de se déplacer normalement. Le fait de couper l'alimentation du solénoïde libère le levier qui, à l'aide du ressort de rappel vient placer la soupape de dosage vers le « stop ».

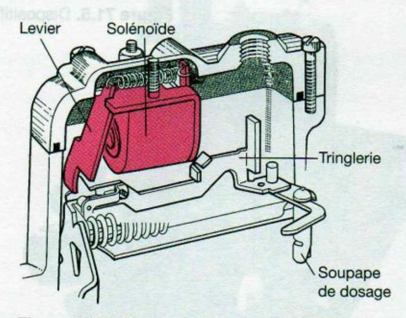


Figure 71.3. Stop électrique type « ETSO » *(Energised to shut off)*

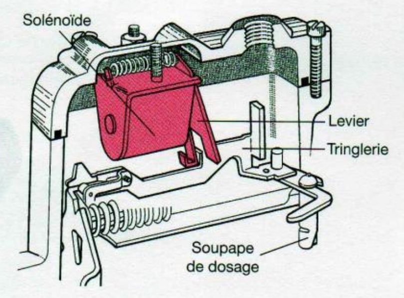


Figure 71.4. Stop électrique type « ETR » *(Energised to run)*

Dysfonctionnements

- **Manque de puissance, suite à membrane percée dans la capsule anéroïde.**
- **Arrêt difficile ou impossible, bobinage de stop endommagé.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le limiteur de richesse est préréglé en usine, et n'est vendu que complet (membrane non détaillée).
- Le dispositif de stop électrique « ETSO » est surtout utilisé sur les groupes électrogènes pour les sécurités.

3 Contrôle de couple

Pour assurer une réponse correcte du moteur, accusant une baisse de régime lors d'une charge instantanée, un dispositif permet d'optimiser le *débit maximal* injecté en fonction du *régime de rotation*.

Dans certaines applications, une vis oblique située sur le *carter de pompe* vient faire « butée » sur la soupape de dosage **(fig. 71.5)**. Trois facteurs permettent cette correction :

- la pression de transfert ;
- l'ouverture de la *soupape* de dosage ;
- la vitesse de rotation de la pompe (temps de correspondance ou de « vis-à-vis » des orifices de remplissage).

Pour une ouverture limitée de la soupape de dosage, si le moteur tourne à sa *vitesse maximale* en charge, le débit sera limité par la soupape et non plus par l'ouverture des galets.

Si une charge supplémentaire est appliquée, la *vitesse* diminue mais du fait de l'accroissement du temps de correspondance des orifices de remplissage, une plus grande quantité de combustible sera admise entre les pistons ; le *débit* va augmenter mais sera limité par l'écartement des galets.

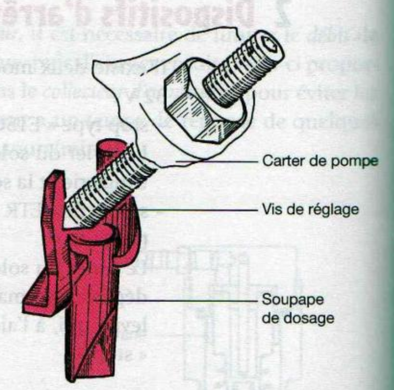


Figure 71.5. Dispositif de réglage du couple

Pompe « DB Target »

1 Particularités

La pression continue des réglementations impose la réduction des émissions de polluants des moteurs diesels, également dans les applications industrielles et agricoles.

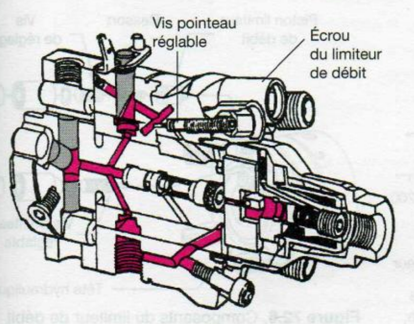
Il est nécessaire de parvenir à une meilleure maîtrise des *débits d'injection* de gazole et du calage.

Stanadyne a développé des caractéristiques spéciales de *pompes d'injection* sur la pompe d'injection « DB Target » **(fig. 72.1)** telles que :

- la compensation de viscosité **(fig. 68.6)**, pour mieux maîtriser la pression interne de pompe ;
- les « *servo-avances* » de type II, pour assurer la précision du point d'injection **(fig. 70.6)** ;
- le dispositif d'optimisation du point d'injection en phase « moteur froid » électrique **(fig. 70.8)** ;
- le limiteur de débit à bas régime **(fig. 72.2)**.



Figure 72.1. Pompe Stanadyne de type DB « Target » avec nouveau système antipollution *(Doc. Stanadyne)*



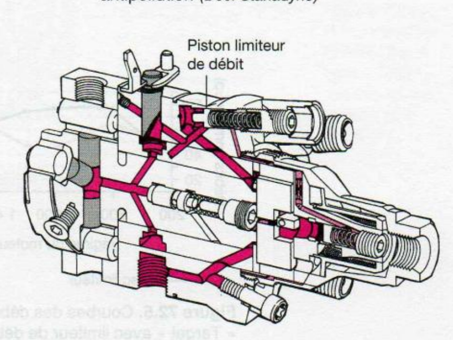


Figure 72.2. Vu des éléments de réglage du limiteur de débit d'une pompe « Target » (vis pointeau, piston limiteur) *(Doc. Stanadyne)*

2 Le limiteur de débit à bas régime

2.1 Son rôle

Ce dispositif est conçu pour réduire le *débit* de gazole **(fig. 72.5)**, l'accélérateur étant en pleine ouverture, moteur en dessous du régime du couple maximal, afin de maîtriser les émissions de gaz d'échappement et de fumées noires à bas régime. C'est en dessous de ce régime (généralement à moins de 1 600 tr/min) que le volume d'air nécessaire pour brûler le gazole normalement injecté devient souvent insuffisant, notamment pour les *moteurs turbocompressés*.

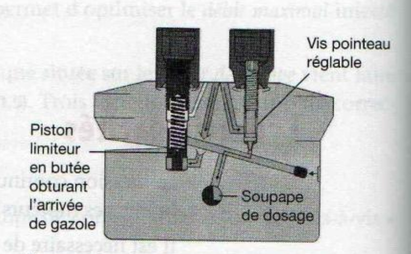


Figure 72.3. Chemin du carburant vers la soupape de dosage, à un régime inférieur au régime de couple maximal

2.2 Fonctionnement du limiteur de débit à bas régime

Le dispositif se situe dans la tête hydraulique de la pompe. Il comporte une vis pointeau réglable **(fig. 72.2a)** et un piston limiteur de *débit de gazole* **(fig. 72.2b)**, permettant de restreindre le flux de gazole vers la soupape de dosage, l'accélérateur étant en pleine ouverture.

La vis pointeau réglable et le *piston* limiteur sont situés dans les canaux qui alimentent sous pression de transfert la *soupape* de dosage de la pompe **(fig. 72.6)**.

À faible régime moteur : lorsque la *pression* du gazole est relativement basse, le piston limiteur est au repos, en butée sur son siège, bloquant l'une des deux voies conduisant à la soupape de dosage **(fig. 72.3)**.

Seul le carburant calibré par la vis pointeau arrive à la soupape de dosage **(fig. 72.4)**.

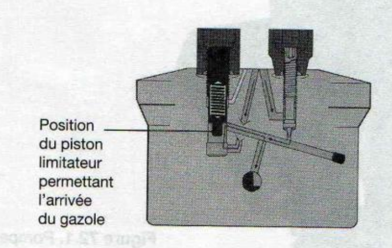


Figure 72.4. Chemin du carburant vers la soupape de dosage, à un régime supérieur au régime de couple maximal *(Doc. Stanadyne)*

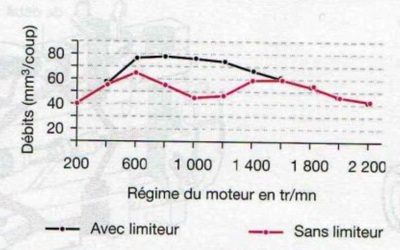


Figure 72.5. Courbes des débits de la pompe « Target » avec limiteur de débit à bas régime, accélérateur en pleine ouverture *(Doc. Stanadyne)*

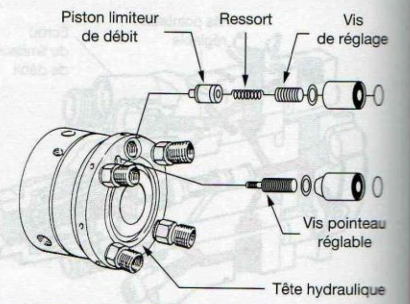


Figure 72.6. Composants du limiteur de débit à bas régime Stanadyne

2.3 Augmentation du régime moteur

La *pression* de transfert augmente, le piston limiteur ouvre le passage du carburant vers la *soupape* de dosage (fig. 72.4).

Le réglage du *piston* limiteur s'effectue au banc d'essai diesel, l'ouverture complète se trouvant avant le régime moteur du couple maximal.

Le débit de la pompe, au régime de couple maximal, est bien sûr déterminé par l'écartement des galets (fig. 69.6).

La courbe de *débit* ainsi obtenue est représentée par la figure 72.7.

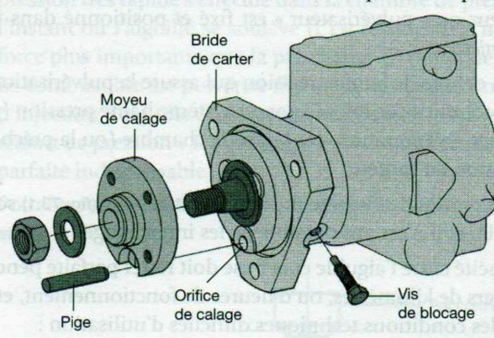


Figure 72.7. Dispositif de blocage de l'arbre d'entraînement par pige sur pompe Stanadyne

2.4 Calage de la pompe par pige sur le moyeu

Le calage des pompes par pige est de plus en plus utilisé, le moyeu n'est plus *claveté sur l'arbre d'entraînement* (fig. 72.7).

Celui-ci est positionné à l'usine, ou dans une station diesel agréée, et un repère est tracé sur la bride du *carter de pompe*.

Dysfonctionnement ■ Manque de puissance, ou fumées suite à un mauvais réglage du limiteur de débit à bas régime, ou un grippage dû à la présence d'eau dans le carburant.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le réglage du limiteur de *débit* à bas régime est très « pointu », et doit être effectué par un spécialiste agréé.
- Dans le système avec calage par pige de blocage, attention à ne pas tenter un démarrage sans avoir enlevé cette pige !
- La nouvelle pompe Stanadyne est destinée aux équipements industriels et agricoles, et non à l'automobile.

Injecteurs et porte-injecteurs classiques

1 Description

L'injecteur ou « pulvérisateur » est fixé et positionné dans un support dénommé « *porte-injecteur* ».

C'est un organe de haute précision qui assure la pulvérisation correcte et la répartition du combustible refoulé par un système haute pression (*pompe d'injection, injecteur-pompe,* rail commun, etc.) dans la chambre (ou la préchambre selon le cas) de combustion du moteur.

Les deux parties de l'injecteur, l'aiguille et la buse **(fig. 73.1)** sont appariées et rodées ensemble, et il n'est pas possible de les interchanger.

L'étanchéité entre l'aiguille et la buse doit rester parfaite pendant plusieurs dizaines de milliers de kilomètres, ou d'heures de fonctionnement, et elle doit se maintenir malgré les conditions techniques difficiles d'utilisation :
- hautes pressions de fonctionnement ;
- hautes températures des *chambres de combustion* ;
- faible jeu des organes en mouvement (2 à 4 µm) ;
- grande fréquence de fonctionnement (jusqu'à 2 800 pulsations à la minute, et maintenant plus de 5 000, avec une « pré-injection » sur les systèmes haute pression). Chaque pulsation dure, en général, moins d'un centième de seconde, et maintenant quelques « millisecondes » !

L'ensemble aiguille-buse est fixé sur le porte-injecteur par un écrou qui prend appui sur la collerette C **(fig. 73.1)** et applique la face rectifiée et rodée de la buse sur la face rodée du porte-injecteur, ou sur une entretoise rectifiée **(fig. 74.7)**. Le serrage de cet écrou doit impérativement être effectué au couple prescrit, à l'aide d'une clé « dynamométrique » étalonnée.

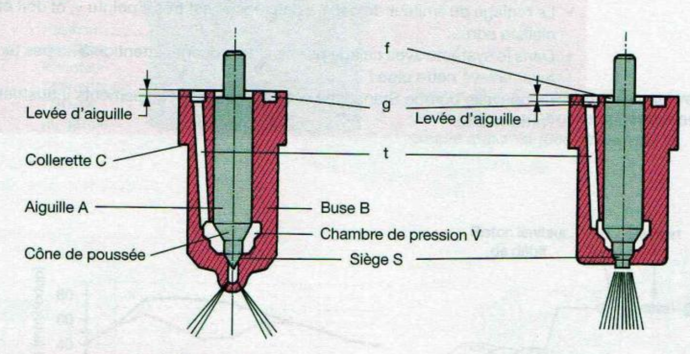


Figure 73.1. Injecteurs

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La qualité et la conformité de la pulvérisation sont déterminées par les constructeurs et ont une influence importante dans la formation du mélange, la teneur en polluant des gaz d'échappement, la pression et les bruits de combustion.
- Toute intervention, modifiant les caractéristiques d'origine d'un injecteur neuf ou usagé est inacceptable et peut se révéler dangereuse pour la durée de vie du moteur.
- Le couple de serrage du *porte-injecteur* sur la culasse du moteur doit être respecté.

2 Fonctionnement

L'aiguille est appliquée au repos sur son siège « S » **(fig. 73.1 et 73.2)**, par un *ressort* qui prend appui dans le *porte-injecteur* **(fig. 73.2 et 74.7)**.

Le gazole arrive par le porte-injecteur dans une gorge circulaire « g » (ou par l'orifice unique indexé sur le modèle « DLLA », **fig. 74.7**) puis est dirigé vers la *chambre de pression* « V », par le canal « t » **(fig. 73.1 et 73.2)**.

Au moment du *refoulement* de combustible par la *pompe d'injection*, une montée en pression très rapide s'effectue dans la chambre de pression V **(fig. 73.1 et 73.2)**, jusqu'à l'instant où l'aiguille se soulève (c'est le « début d'injection »), exerçant alors une force plus importante que la pré-charge du *ressort* de pression « R » **(fig. 73.2 et 74.7)**. Le combustible est pulvérisé finement, jusqu'à la fin du refoulement de la pompe d'injection, l'aiguille d'injecteur retombe alors sur son siège, plaquée par la force du ressort de pression « R » et obture le ou les orifices de la buse d'*injecteur* (étanchéité parfaite indispensable).

Pour les systèmes « injecteurs-pompes » et « rail commun », se reporter aux **fiches 78 et 86**.

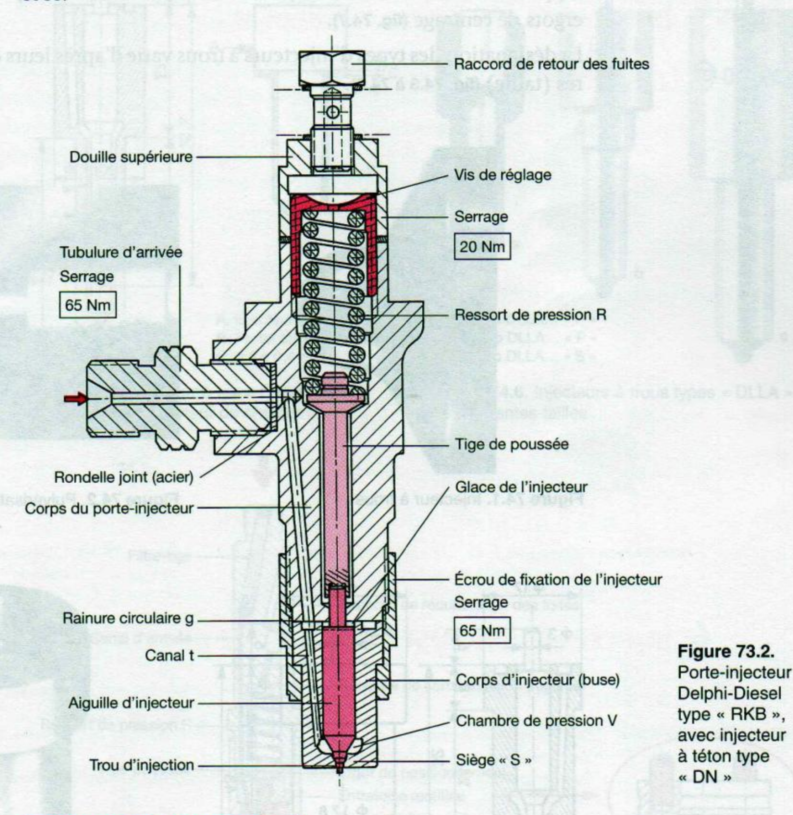


Figure 73.2. Porte-injecteur Delphi-Diesel type « RKB », avec injecteur à téton type « DN »

AVIS DU PROFESSIONNEL

- L'aiguille est lubrifiée et refroidie par le carburant (faible fuite entre l'aiguille et la buse).
- La pression d'ouverture de l'aiguille de l'*injecteur* dépend de la valeur de compression du *ressort* dans le *porte-injecteur* et s'appelle : « pression de *tarage* de l'injecteur ».
- Le *débit maximal* d'un injecteur est déterminé par :
  – la section de passage dans la buse (nombre et ∅ des orifices) ;
  – la levée d'aiguille **(fig. 73.1)**.

Différents types d'injecteurs

1 Injecteurs à trous

Ce type d'*injecteur* **(fig. 74.1 à 74.10)** est utilisé en général sur les moteurs à injection directe car son rôle est essentiellement de répartir le carburant.

L'extrémité de la buse est percée d'un trou central ou de plusieurs trous capillaires dont le diamètre minimal est de 0,15 mm (nombre de trous = 1 à 12, angles de jets = 0 à 180°).

Le diamètre et la disposition de ces trous varient suivant le *débit* et la forme de la *chambre de combustion*. Lorsque les trous ne sont pas répartis symétriquement par rapport à l'axe de la buse, l'injecteur est positionné sur le *porte-injecteur* par deux ergots de centrage **(fig. 74.7)**.

La désignation des types d'injecteurs à trous varie d'après leurs dimensions extérieures (taille) **(fig. 74.3 à 74.5)**.

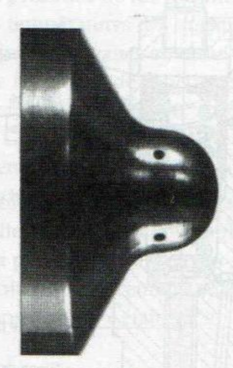


Figure 74.1. Injecteur à trous

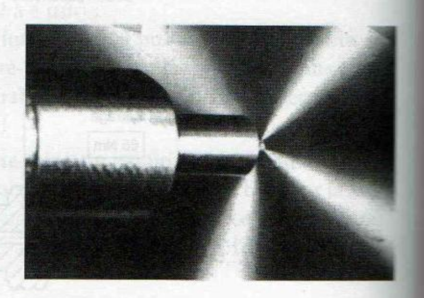


Figure 74.2. Pulvérisation d'un injecteur à trous

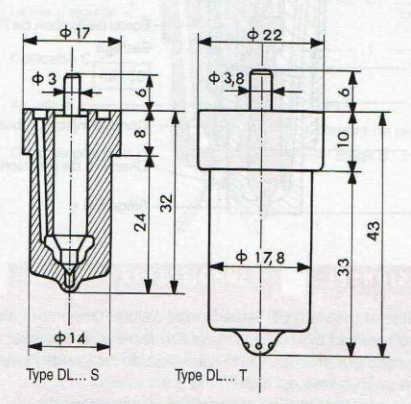


Figure 74.3. Tailles des injecteurs « à trous courts », tailles « S » et « T »

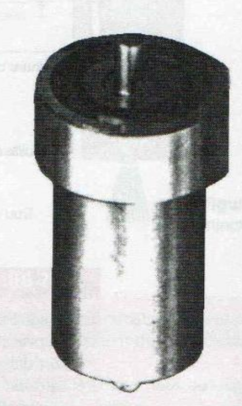


Figure 74.4. Injecteur Bosch type « DL »

2 Injecteurs à trous « courts » type DL

Ce modèle d'*injecteur* destiné aux moteurs à injection « directe » a été remplacé sur les moteurs modernes par le modèle « long » (DLL ou DLLA, **fig. 74.6**) moins encombrant et moins exposé aux températures élevées de la combustion.

3 Injecteurs à aiguille allongée ou très allongée

Ces injecteurs sont les plus utilisés sur les moteurs à injection directe et le gain de place est important (par exemple lors du montage de l'injecteur entre les *soupapes*) (**fig. 74.5 et 74.6**).

Dans certains cas, on cherche à diminuer la surface offerte à l'action des gaz « brûlants », afin de réduire l'échauffement de l'*injecteur* ; on monte alors un fourreau « protecteur de chaleur » (**fig. 74.5**).

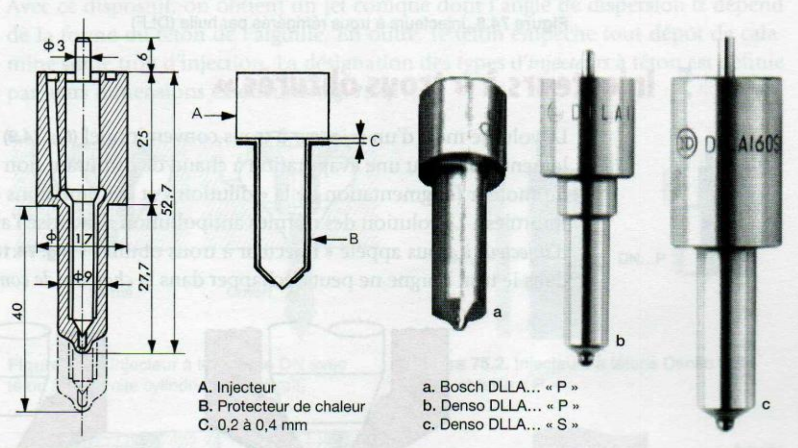


Figure 74.5. Injecteur à trous Bosch type « DLL » avec protecteur de chaleur

Figure 74.6. Injecteurs à trous types « DLLA », de différentes tailles

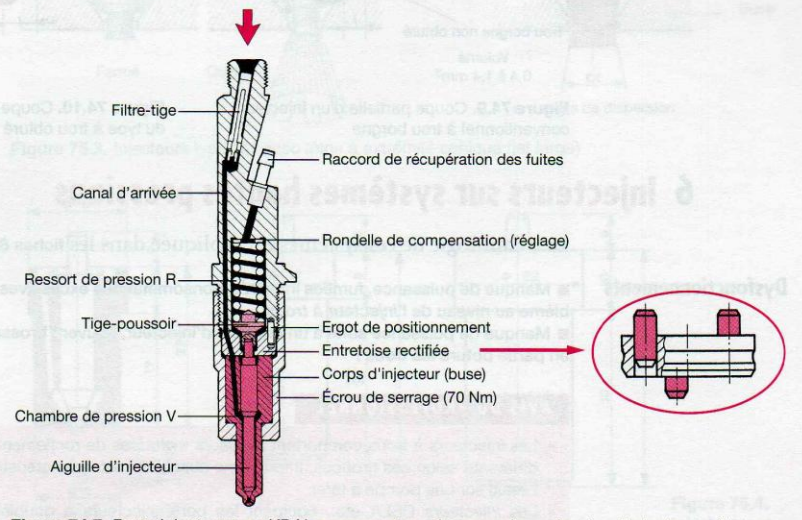


Figure 74.7. Porte-injecteur type KBAL avec montage du raccord « en bout » et injecteur « à trous » type « DLLA »

4 Injecteurs à trous réfrigérés par huile – Bosch type DLF

Ils sont montés sur les gros moteurs qui utilisent un carburant lourd (fig. 74.8). Ces *injecteurs* subissent des conditions de fonctionnement très sévères (moteurs à faibles *vitesses* de rotation, et donc exposition prolongée à la chaleur dégagée par la combustion) et doivent être refroidis par la circulation d'un fluide réfrigérant (huile ou autre, non corrosif).

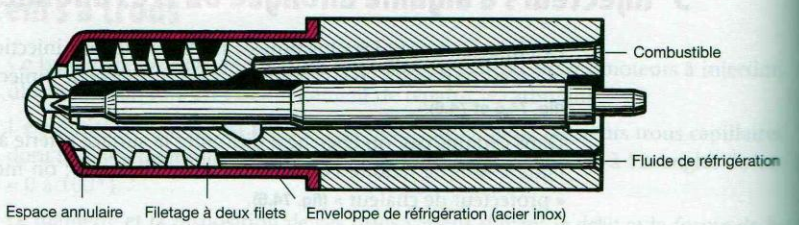


Figure 74.8. Injecteurs à trous réfrigérés par huile (DLF)

5 Injecteurs à « trous obturés »

Le volume mort d'un *injecteur* à trous conventionnel (fig. 74.9) donne lieu à un écoulement à froid ou une évaporation à chaud de carburant non brûlé dans les *cylindres* du moteur (augmentation de la « dilution » et des émissions de HC : hydrocarbures imbrûlés). L'évolution des normes antipollution a favorisé l'apparition d'un modèle d'*injecteur* à trous appelé « injecteur à trous obturés » (fig. 74.10). Le carburant restant dans le trou borgne ne peut s'échapper dans la *chambre de combustion* du moteur.

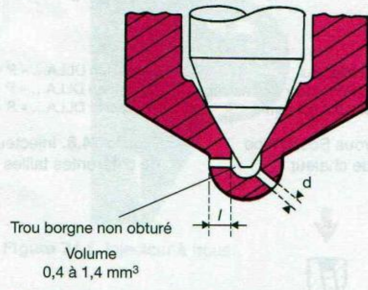


Figure 74.9. Coupe partielle d'un injecteur conventionnel à trou borgne

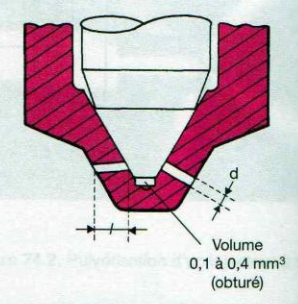


Figure 74.10. Coupe partielle d'un injecteur du type à trou obturé

6 Injecteurs sur systèmes hautes pressions

La technologie de ces systèmes est expliquée dans les **fiches 82 et 86.**

Dysfonctionnements

- **Manque de puissance, fumées intenses, consommations excessives, sont les signes d'un problème au niveau de l'*injecteur à trous*.**
- **Manque de puissance suite à un contrôle d'injecteur, souvent brossage des injecteurs ayant en partie obturé les trous !**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les *injecteurs* à trous comportent plusieurs « groupes de ronflement », et la pulvérisation est différente selon ces groupes. Il faut donc connaître cette caractéristique avant de procéder à l'essai sur une pompe à tarer.
- Les *injecteurs* DSLA, etc., équipant les porte-injecteurs à doubles ressorts ne sont plus commercialisés, seul le *porte-injecteur* complet en échange standard est vendu.

Injecteurs à tétons et à « effet étranglement »

1 Injecteurs à tétons

Ils sont utilisés sur les moteurs à injection « indirecte » **(fiche 4)**, car la préparation du mélange carburant est assurée principalement par le tourbillonnement de l'air et facilitée par la forme étudiée du jet d'injection **(fig. 75.1 à 75.3)**.

La buse est percée d'un trou central de diamètre relativement important (d = 0,8 à 2 mm) et l'aiguille présente un téton de diamètre légèrement inférieur.

Avec ce dispositif, on obtient un jet conique dont l'angle de dispersion α dépend de la forme du téton de l'aiguille. En outre, le téton empêche tout dépôt de calamine sur le trou d'injection. La désignation des types d'*injecteurs* à téton est définie par leurs dimensions extérieures **(fig. 75.4)**.



Figure 75.1. Injecteur à téton type DN avec téton à extrémité cylindrique (jet étroit)

Figure 75.2. Injecteurs à tétons Denso taille « S » et taille « P »

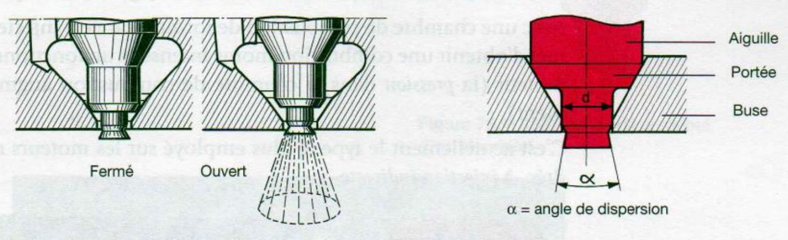


Figure 75.3. Injecteurs type DN avec téton à extrémité conique (jet large)

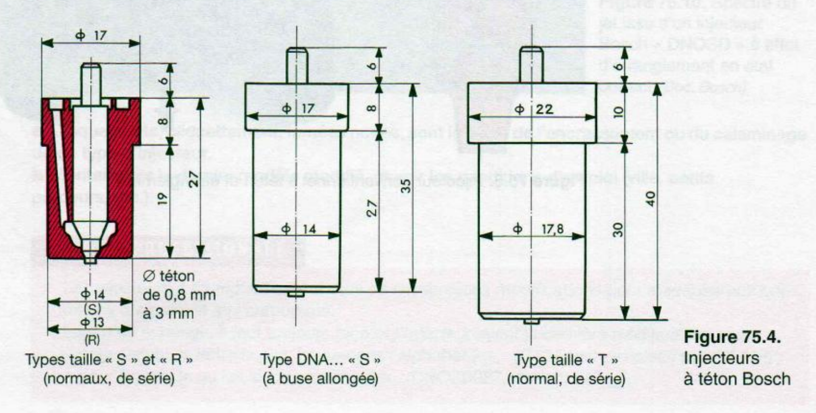


Figure 75.4. Injecteurs à téton Bosch

2 Injecteurs à « effet d'étranglement »

2.1 Rôle

Le but est de provoquer une réduction du délai d'inflammation, donc des pressions de pointe, par « mise à feu » d'une faible partie de combustible.

Dans ce type d'*injecteur*, la forme particulière du téton de l'aiguille **(fig. 75.6)** et un *ressort* spécial dans le *porte-injecteur* permettent d'obtenir un « pré-jet ».

2.2 Fonctionnement

Au moment de l'ouverture, l'aiguille découvre en premier lieu un étroit passage annulaire qui laisse pénétrer très peu de carburant (effet d'étranglement). Ce faible volume s'oxyde et brûle très rapidement, ce qui provoque un début de l'inflammation **(fig. 75.5 à 75.10)**.

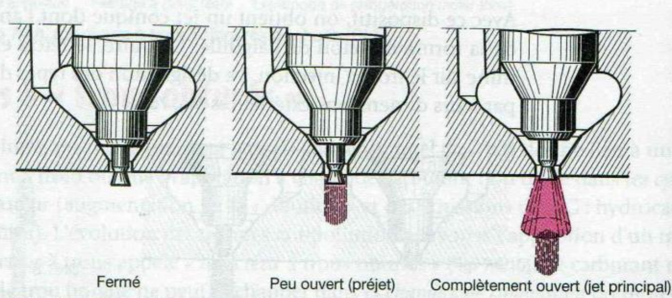


Figure 75.5. Injecteurs à étranglement type DN… SD Bosch à téton

Au fur et à mesure que le mouvement d'ouverture progresse (accroissement de la pression), le passage s'élargit et ce n'est que vers la fin de la course de l'aiguille que le *débit* maximal de combustible est injecté **(fig. 75.5 à 75.10)**.

Avec une chambre de combustion de forme étudiée, l'injecteur à étranglement permet d'obtenir une combustion moins intense et un fonctionnement plus souple du moteur (la *pression* dans la chambre de combustion augmente plus progressivement).

C'est actuellement le type le plus employé sur les moteurs rapides de faible cylindrée, à *injection indirecte*.

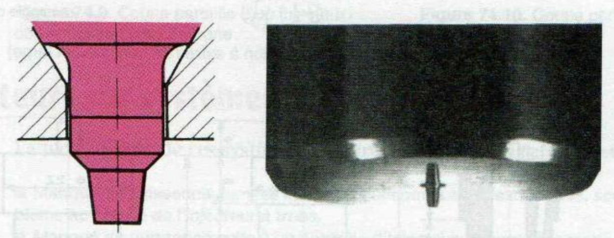


Figure 75.6. Injecteur conventionnel à téton et étranglement

3 Évolutions

3.1 Injecteurs autonettoyants

L'usinage des injecteurs autonettoyants (fig. 75.7 à 75.9) spécifique évite l'encrassement et les bruits de claquement grâce à 1 ou 2 méplats quelquefois en cône, sur la partie du téton d'étranglement (jet de décalaminage se déplaçant en rotation avec l'aiguille).

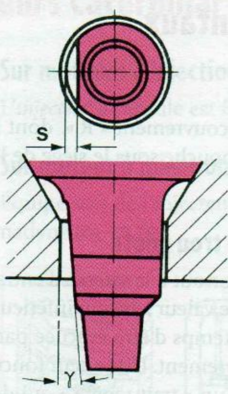


Figure 75.7. Injecteur avec méplat (γ) *(Doc. Bosch, Delphi-Diesel)*

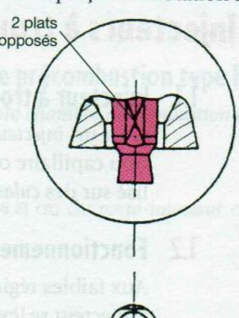


Figure 75.8. Injecteur avec 2 méplats opposés *(Doc. Denso)*

3.2 Injecteurs à orifice calibré

Le téton de l'aiguille est percé au centre, et rejoint un canal transversal, l'effet d'étranglement est obtenu par le diamètre du trou central (fig. 75.9).

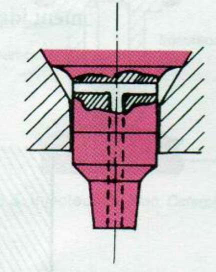


Figure 75.9. Injecteur à orifice calibré *(Doc. Mercédès)*

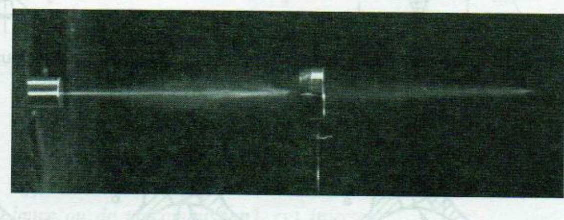


Figure 75.10. Spectre du jet issu d'un injecteur Bosch « DNOSD » à effet d'étranglement en état correct *(Doc. Bosch)*

Dysfonctionnements

- Claquements, cliquettement, fumées noires, sont le signe de l'encrassement ou du calaminage de ce type d'injecteur.
- Monter alors le dernier modèle modifié, et voir les conditions d'emploi (ville, petits parcours, etc.).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les *injecteurs à étranglement* ont subi de nombreuses modifications pour s'adapter aux conditions d'emploi et aux carburants.
- Lors d'un échange, il faut toujours monter l'*injecteur* ayant la dernière modification, soit :
  – pour Delphi, la lettre la plus haute dans l'alphabet (ex. : 6751A, est remplacé par 6751 H) ;
  – pour Bosch, le ou les signes repères (ex. : DNOSD287, devient 287 +/).

Autres injecteurs

1 Injecteurs à trou pilote ou Pintaux

1.1 Injecteur à trou pilote

C'est un *injecteur à téton* à grand recouvrement « R », dont la buse est percée d'un trou capillaire oblique « P » qui débouche sous le siège de l'aiguille « S ». Il est utilisé sur des *culasses* à préchambres.

1.2 Fonctionnement de l'injecteur à trou pilote

Aux faibles régimes du moteur et surtout à la vitesse d'entraînement du *démarreur*, l'injecteur se lève lentement et d'une valeur souvent inférieure à sa levée maximale : la plus grande partie du débit a le temps d'être évacuée par le trou pilote, le téton étant encore étanche sur son recouvrement. L'injecteur fonctionne comme un *injecteur à trou*. Cet injecteur comporte un « trait repère » qui doit être positionné face au raccord d'arrivée sur le *porte-injecteur* **(fig. 76.1 à 76.3)**.

Le fonctionnement de l'*injecteur Pintaux*, à téton et à trou auxiliaire, est sensiblement identique **(fig. 76.2)**.

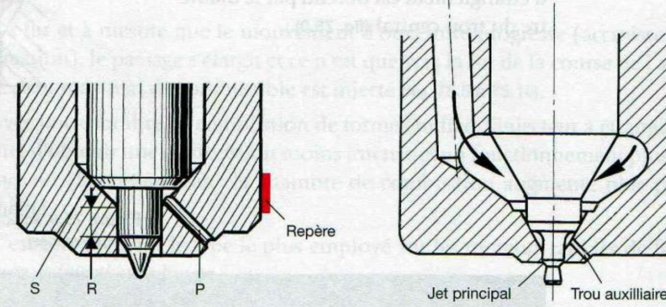
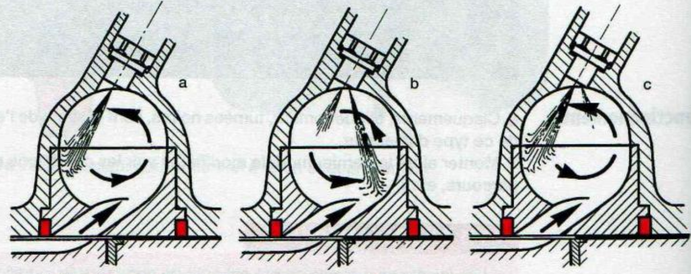


Figure 76.1. Injecteur à trou pilote (ex. : PM Labinal)

Figure 76.2. Injecteur Pintaux CAV *(Doc. Lucas-Diesel)*



a. Injection dans une chambre Ricardo Comet avec injecteur normal
b. Injecteur Pintaux pendant le démarrage ; le jet secondaire est prédominant
c. Injecteur Pintaux en marche normale ; le jet secondaire est réduit au minimum indispensable pour éviter l'encrassement du canal latéral de très faible section de l'injecteur.

Figure 76.3. Pulvérisation d'un injecteur à trou pilote

Dysfonctionnement ■ Mauvais démarrage à froid, fumées, dues soit à l'obturation du trou « pilote », ou à une erreur de montage sur la culasse.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Attention à bien repérer le sens de montage des *porte-injecteurs* sur la culasse, ceux-ci n'ayant pas toujours un positionnement par ergot ou encoche.

2 Injecteurs Caterpillar

2.1 Sur moteurs à injection avec chambre de précombustion type PC

L'*injecteur* à capsule est fixé dans un ensemble *chambre de combustion* **(fig. 76.4)**.

2.2 Sur moteur à injection directe type DI

Équipé soit de l'injecteur à capsule DI **(fig. 76.5)** ou du *porte-injecteur* crayon de Stanadyne **(fig. 76.7)**.

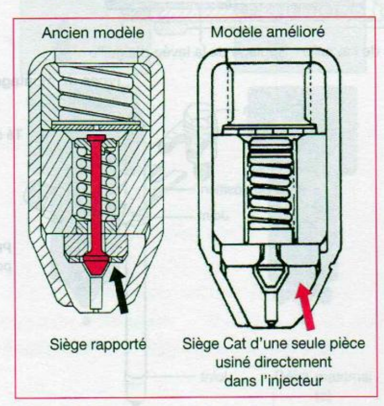


Figure 76.4. Injecteur PC *(Doc. Caterpillar)*

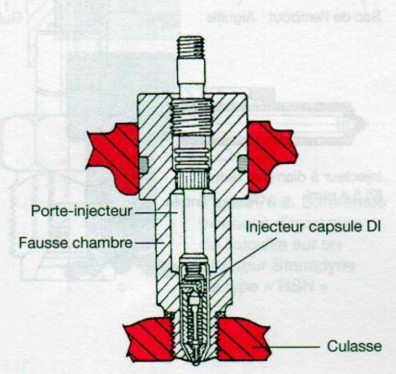


Figure 76.5. Injecteur DI *(Doc. Caterpillar)*

3 Micro-injecteur CAV-Delphi-Diesel

Ses faibles dimensions (65 mm hors tout) permettent un meilleur refroidissement et laissent une place importante pour les soupapes **(fig. 76.6)**.

Destiné à équiper les moteurs diesels à injection indirecte *(chambres de turbulence ou de précombustion)*, cet *injecteur* possède les particularités suivantes :
- ouverture de l'aiguille vers le bas ;
- absence de retour des fuites ;
- *tarage* plus faible (80 à 90 bars).

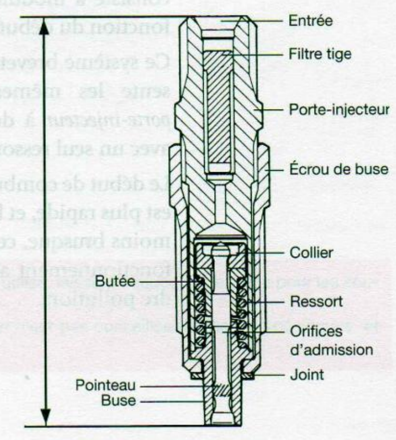


Figure 76.6. Micro-injecteur CAV

Dysfonctionnement ■ Fumées, dilution, par fuite ou mauvaise étanchéité de ces *injecteurs*, ayant un tarage très bas.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les injecteurs à capsule ont pratiquement disparu, remplacés par des injecteurs traditionnels.

4 Injecteurs crayon Stanadyne (ex « Roosa master »)

Ainsi appelés du fait de leur forme et de leur taille (∅ du corps = 9,5 mm), ils permettent, sur certains moteurs, de prévoir un meilleur refroidissement et une place disponible plus importante pour les *soupapes* (moteurs John Deere, Case, Ford, Chevrolet, Oldsmobile, etc.). La nouvelle version à injecteur de diamètre réduit **(fig. 76.7c)** (∅ = 5,4 mm) équipe les nouveaux moteurs rapides à injection directe.

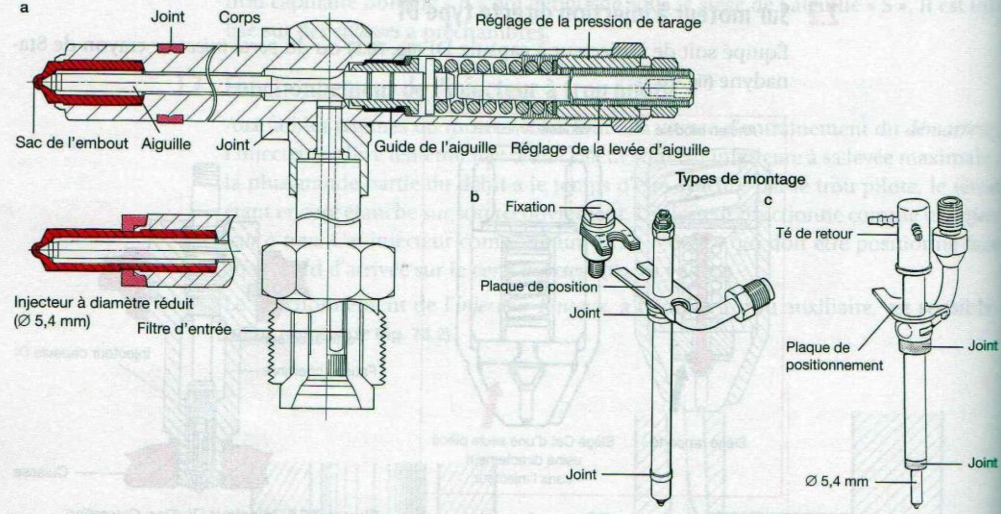


Figure 76.7. Injecteurs Stanadyne de type crayon *(Doc. Stanadyne)*

5 Injecteur à trous à débit variable (type « RSN » Stanadyne)

La particularité de ce modèle **(fig. 76.8)** consiste à moduler le débit injecté en fonction du début de la levée d'aiguille.

Ce système breveté par Stanadyne, présente les mêmes avantages que le *porte-injecteur* à doubles ressorts, mais avec un seul ressort.

Le début de combustion dans le moteur est plus rapide, et la montée en pression moins brusque, ce qui allie un bruit de fonctionnement atténué, et une moindre pollution.

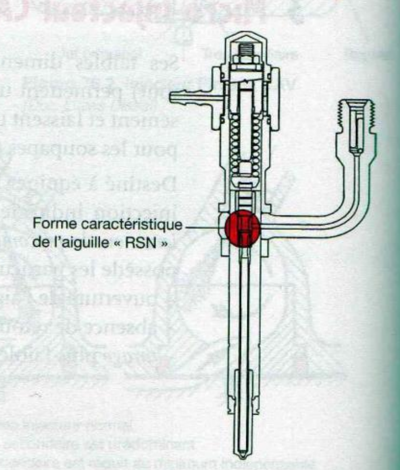


Figure 76.8. Injecteur crayon type II RSN de Stanadyne *(Doc. Caterpillar)*

- Aiguille fermée, la collerette de l'aiguille est en position basse dans la partie rectifiée du corps, le *débit* est nul **(fig. 76.9a)**.
- Début d'injection, la levée d'aiguille est très faible, la collerette réduit le débit injecté **(fig. 76.9b)**.
- Injection partielle, la *pompe d'injection* envoie du carburant, mais la collerette de l'aiguille forme un réducteur de *débit* dans la première partie de sa course, permettant une forme de « pré-injection », selon la courbe **(fig. 76.10)**.
- Plein débit, la levée de l'aiguille est complète, le *débit injecté* est celui envoyé par la *pompe d'injection*, la collerette est dégagée de la partie rectifiée du corps **(fig. 76.9c)**.

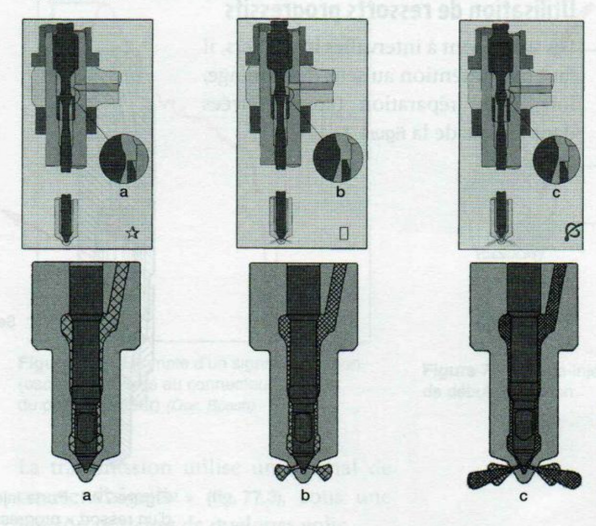


Figure 76.9. Différentes positions d'ouverture de l'aiguille sur un injecteur Stanadyne de type « RSN »

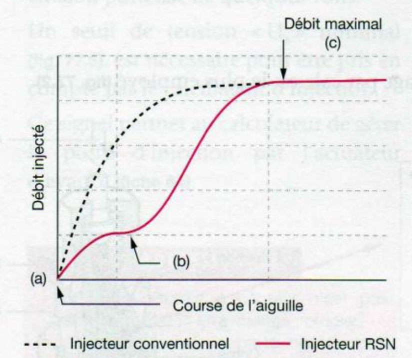


Figure 76.10. Courbes de débits obtenues par un injecteur « RSN » *(Doc. Stanadyne)*

AVIS DU PROFESSIONNEL

- L'*injecteur* de type « crayon » est encore très utilisé, laissant beaucoup de place pour les *soupapes* moteur.
- Ces *injecteurs* sont fiables, mais la réparation n'est pas conseillée (outillages spécifiques, et aiguilles de différentes cotes).

Évolution des porte-injecteurs

1 Particularité

1.1 Utilisation de ressorts progressifs

Les spires sont à intervalles irréguliers, il faut faire attention au sens de montage, lors d'une réparation (spires serrées dans le sens de la **figure 77.1**).

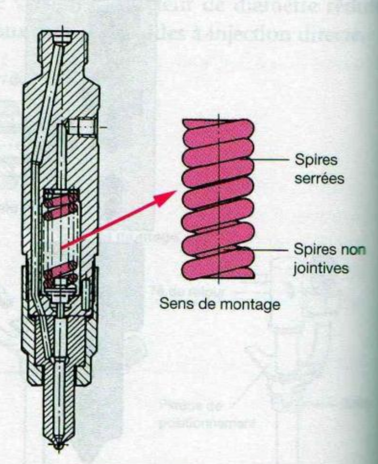


Figure 77.1. Porte-injecteur Bosch équipé d'un ressort « progressif »

1.2 Réglage par cale

Le système de réglage par cale est le plus employé **(fig. 77.2)**.

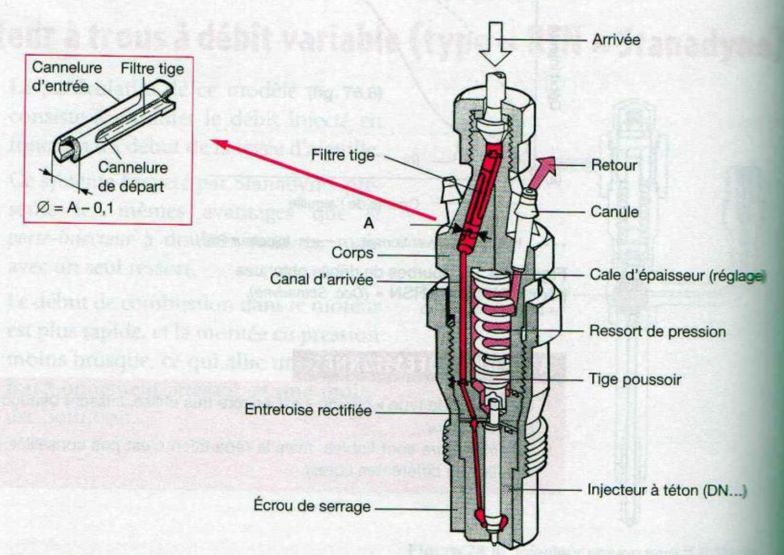


Figure 77.2. Porte-injecteur standard à réglage par cale *(Doc. Bosch)*

2 Porte-injecteur à capteur pour équipements avec pompe d'injection électronique

Le développement de l'électronique sur les *pompes d'injection* nécessite des transmetteurs d'informations (ceux-ci sont regroupés dans le calculateur électronique). Un de ces transmetteurs (ou capteur) se trouve placé dans le *porte-injecteur* et permet, selon les cas, d'obtenir les informations sur : le début d'injection ; la vitesse de rotation moteur **(fig. 77.3 et 77.4)** ; la durée de l'injection **(fig. 77.5)**.

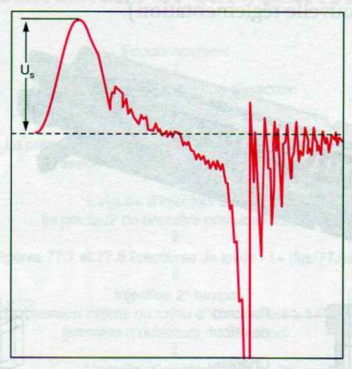


Figure 77.3. Exemple d'un signal d'injection (oscilloscope relié au connecteur du porte-injecteur) *(Doc. Bosch)*

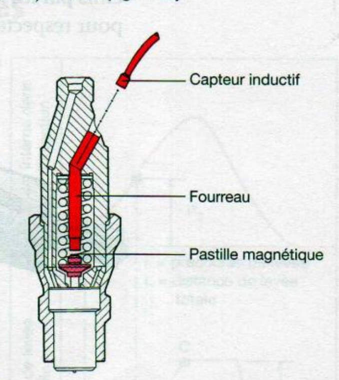


Figure 77.4. Porte-injecteur avec indicateur de début d'injection

La transmission utilise un « signal de course d'aiguille » **(fig. 77.3)**, sous une tension porteuse de quelques volts.

Un seuil de tension « U_S » minimal **(fig. 77.3)**, est nécessaire pour être pris en compte par le calculateur d'injection.

Ce signal permet au calculateur de gérer le point d'injection par l'actuateur d'avance **(fiche 64)**.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le *porte-injecteur* à capteur n'est pas réparable, et doit être changé complet.
- L'emplacement de ce porte-injecteur doit être repéré sur la *culasse* au démontage, celui-ci n'étant pas souvent placé sur les *cylindres* des extrémités !

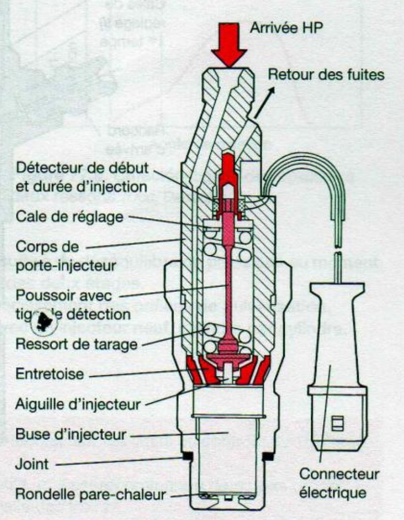


Figure 77.5. Porte-injecteur avec indicateur de début et durée d'injection *(Doc. Bosch)*

Dysfonctionnements

- Moteur en sécurité, régime limité, voyant défaut allumé, par manque de signal.
- Fumées ou bruit moteur modifié, manque de puissance.

3 Porte-injecteurs à deux ressorts

La mise sur le marché d'un *porte-injecteur* à deux *ressorts* (injection en deux phases) est liée à plusieurs raisons techniques **(fig. 77.6 à 77.8)** :

– l'injection « directe » équipe de plus en plus les moteurs diesels de faibles cylindrées, pour sa consommation spécifique très basse et sa moindre pollution (le problème actuel étant le bruit de combustion) ;
– la législation impose des normes de plus en plus sévères en termes de « bruits » émis par les moteurs thermiques (l'encapsulage des moteurs n'étant pas suffisant pour respecter la nouvelle réglementation).

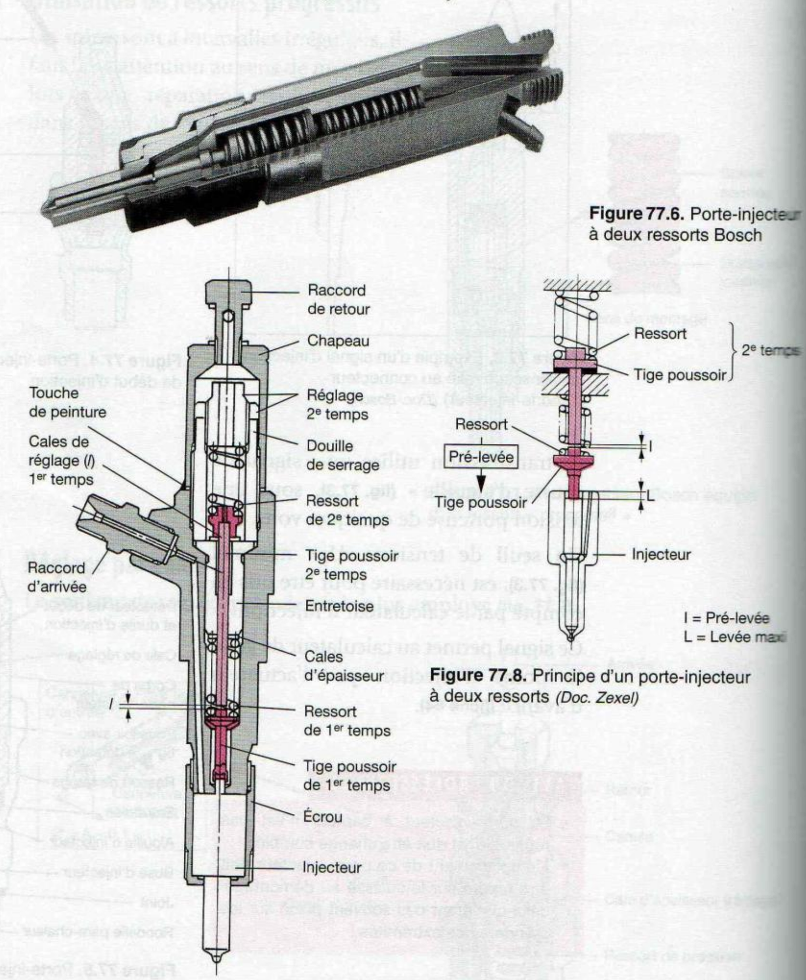


Figure 77.6. Porte-injecteur à deux ressorts Bosch

Figure 77.7. Porte-injecteur Zexel à deux ressorts

Figure 77.8. Principe d'un porte-injecteur à deux ressorts *(Doc. Zexel)*

Le *porte-injecteur* à injection en deux phases permet d'apporter les améliorations suivantes :

– réduction du bruit de combustion à bas régime (environ – 6 dB) ;
– amélioration de la souplesse du moteur à bas régime ;
– amélioration des émissions de polluants (moins de fumées, réduction des HC et NOx).

4 Réparation des porte-injecteurs à deux ressorts

Les constructeurs n'ont pas tous la même attitude quant à la remise en état de ces porte-injecteurs. Aussi est-il prudent désormais de ne pas toucher aux réglages ni d'entreprendre l'échange de l'injecteur sans s'être assuré auparavant de la possibilité de réparation (la première difficulté étant de reconnaître avant l'intervention ce modèle de *porte-injecteur* !).

5 Fonctionnement et caractéristiques

Fonctionnement

⇓

Refoulement de la *pompe d'injection*

⇓

Injection 1er temps
La *pression interne* du tuyau d'injection est ≥ à P01
(*pression d'ouverture* du premier ressort)

⇓

L'aiguille d'*injecteur s'élève*
(le poussoir de première pression monte)

⇓

Figures 77.7 et 77.8 Précourse de levée « l » **(fig. 77.9a)**

⇓

Injection 2e temps
La pression interne du tuyau d'injection est ≥ à P02
(pression d'ouverture du 2e temps)

⇓

L'aiguille d'injecteur s'élève
(les poussoirs de 1er et de 2e temps montent) **(fig. 77.9b)**

⇓

Figure 77.8 Course totale de levée « L » (fig. 77.9)

⇓

La pression interne du tuyau d'injection diminue

⇓

L'aiguille d'injecteur s'abaisse
(les poussoirs de 1re et de 2e pression descendent)

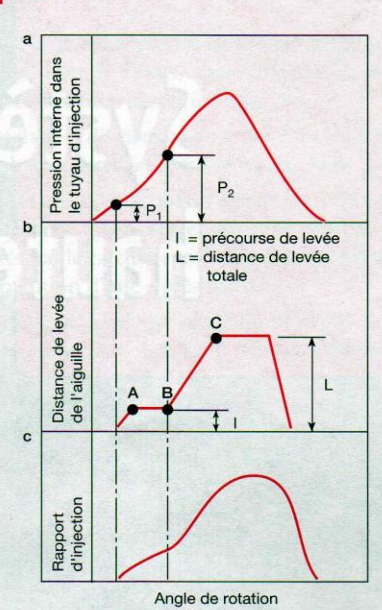


Figure 77.9. Caractéristiques de l'injection à deux ressorts *(Doc. Denso)*

Dysfonctionnements

- **Fumées noires, instabilités en charge partielle, suite à un déséquilibre de pressions au moment du passage entre le premier étage, et l'ensemble des deux étages.**
- **Manque de puissance, à-coups, suite à un rétrécissement des orifices de pulvérisation.**
- **Le diagnostic sur moteur se limite à un essai avec un injecteur neuf, cylindre par cylindre.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- L'essai sur une *pompe à tarer* de ce type de *porte-injecteur* est limité au contrôle du 1er étage, à l'étanchéité, et à la pulvérisation.
- Les orifices des injecteurs récents sont très petits, et il est recommandé de ne pas brosser le nez de l'injecteur sans risquer l'obturation partielle des trous !
- La réparation n'est possible que sur les marques japonaises, avec des outillages spécifiques.
- Les injecteurs seuls sur les marques Bosch, Delphi, ne sont pas commercialisés.

Systèmes d'injection hautes pressions

Injecteurs-pompes : EUI = Electronic Unit Injector

1 Généralités

1.1 Principe de fonctionnement

Ce type de matériel est connu depuis bien longtemps et a été utilisé par les principaux constructeurs américains (Cummins, Détroit Diesel, Caterpillar, etc.), sous diverses technologies, mais à l'époque, à commande mécanique **(fig. 78.1)**.

Le dispositif de régulation était incorporé dans la *distribution* du moteur, et les *débits* commandés par une « crémaillère » sur chacun des *injecteurs-pompes* **(fig. 78.1)**.

Ce temps est révolu, et l'électronique est venue faire évoluer cette technologie, en permettant une gestion des *débits unitaires* très « pointue » en fonction des conditions de fonctionnement du moteur, gérés par le calculateur d'injection, à l'aide de différents capteurs **(fig. 78.7 et 78.8)**, et l'obtention d'une « pré-injection ».

Ceci est déterminant pour optimiser la combustion, d'où une diminution des émanations polluantes, de la consommation, et une augmentation très sensible de la puissance et du couple moteur.

1.2 Inconvénients

Ce type de produit, contrairement au système à « rail commun » appelé « common rail » **(voir fiche 82)** est commandé par l'*arbre à cames* du moteur **(fig. 78.2)**, ou par une pression d'huile variable **(fig. 80.1)** et demande une adaptation particulière et coûteuse de la *culasse* du moteur à cette technologie.

Un renforcement de certains organes du moteur est également rendu nécessaire (*bielles, pistons, vilebrequin*, cames, etc.), en fonction des hautes pressions d'injection atteintes (+ de 2 000 bar, 1 bar = 100 kPa).

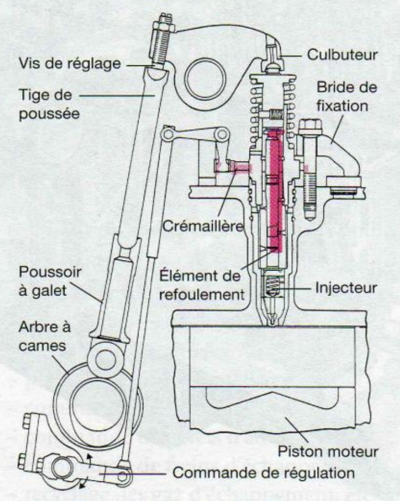


Figure 78.1. Système de commande mécanique d'un injecteur-pompe Caterpillar



Figure 78.2. Détail de la commande d'un injecteur-pompe et des 4 *soupapes* sur un moteur Scania *(Doc. Scania)*

Ainsi, le moteur est souvent plus volumineux, plus cher, un peu plus bruyant que la moyenne, malgré la possibilité d'une pré-injection, et l'usager doit employer une huile de graissage très spécifique, recommandée par le constructeur.

1.3 Avantages

En contrepartie, les performances de ce moteur sont sans égal, avec une nette augmentation du couple à bas régime, un gain de puissance, une consommation plus basse qu'avec tous les autres systèmes, et une diminution des polluants (en particulier les particules).

L'étanchéité haute pression est améliorée (plus de tuyau HP), et la facilité de dépannage de chacun des cylindres unitairement en cas de défaillance d'un des injecteurs-pompes est un atout.

2 Conception, applications

Les *injecteurs-pompes* sont utilisés sur les moteurs à injection directe, que ce soit sur véhicules légers (VAG, **fig. 79.3**), ou plus couramment sur poids lourds **(fig. 78.3)** et moteurs industriels. Les nouvelles technologies et le pilotage électronique rendent possible la variation du point d'injection, et l'injection en deux phases.

Les différents circuits se décomposent en :

– *circuit d'alimentation* basse pression **(fig. 78.4 et 80.3)**, à l'extérieur et à l'intérieur de la culasse **(fig. 78.5)** ;

– l'ensemble de la *régulation* électronique, composé d'un calculateur et de capteurs, ou actuateurs divers, plus ou moins complexe selon les choix des constructeurs **(fig. 78.7 et 78.8)** ;

– le circuit haute pression **(fig. 79.1)**, avec différentes technologies et types de commandes selon chaque constructeur.

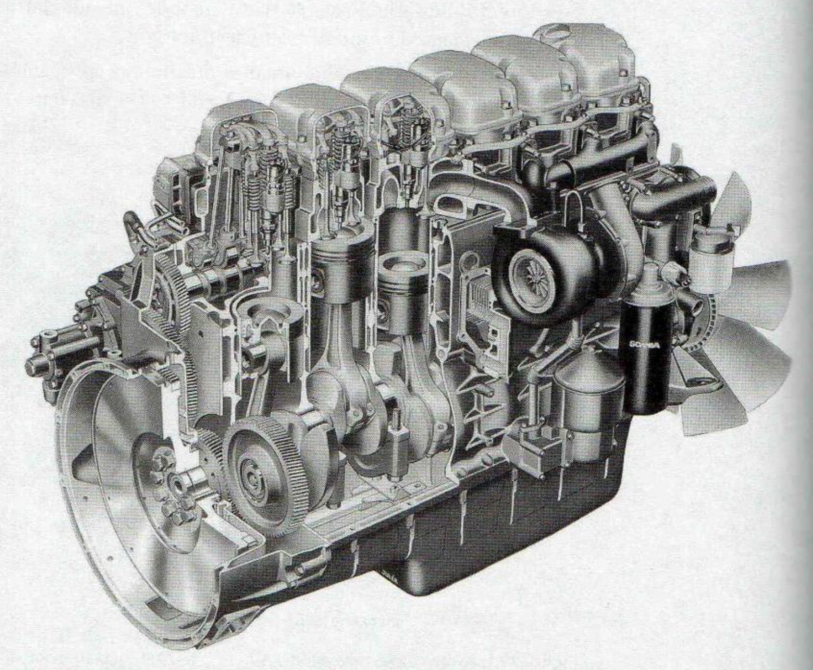


Figure 78.3. Moteur Scania 6 cylindres 12 litres avec injecteurs-pompes *(Doc. Scania)*

3 Circuit d'alimentation basse pression

L'alimentation en carburant des *injecteurs-pompes* est assurée par l'intermédiaire d'une pompe (électrique sur VL, à engrenages sur poids lourds ou industriel, **fig. 78.4**). La pression du système varie entre 2 bar, à plus de 7 bar, régulée par un *clapet* de décharge en sortie de *culasse*. Le calculateur, sur certains équipements, est relié et refroidi par la circulation du carburant en aspiration **(fig. 78.4)**. La (ou les) culasse(s) comprend les canalisations de carburant, permettant le fonctionnement des *injecteurs-pompes*.

L'étanchéité est obtenue par des joints toriques, et il existe, sur certaines culasses, un canal supplémentaire appelé « canal de fuite » **(fig. 78.5)**, permettant le repérage éventuel d'un joint torique défectueux, avant un problème de dilution **(fig. 78.5)**.

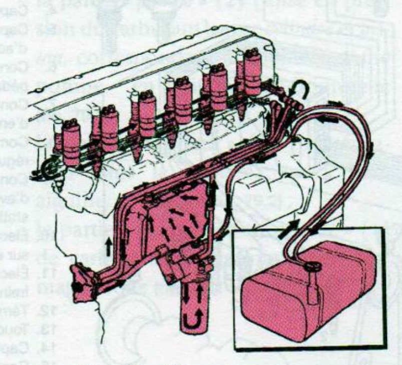


Figure 78.4. Circuit basse pression sur un moteur Volvo DH12, avec injecteurs-pompes

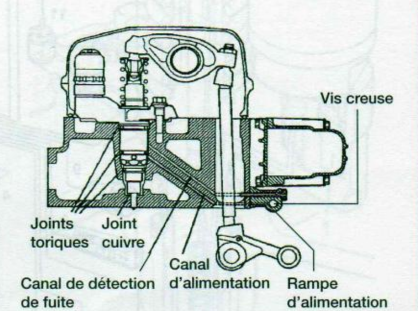


Figure 78.5. Circuit interne basse pression d'une culasse de moteur Scania

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La dépose d'un injecteur-pompe doit toujours être précédée d'une vidange du carburant dans la *culasse*, par la *vis de purge* prévue.
- Le non respect de cette précaution entraîne les dégâts observés sur la **figure 78.6**.

4 Ensemble de régulation électronique

Cet ensemble est semblable à tous les systèmes du même genre (*pompe-injection* à *régulation électronique*, rail commun, etc.), avec un capteur de phase (1[er] cylindre).

Le calculateur d'injection reçoit des informations des différents capteurs, sondes, **(fig. 78.8)** calculateurs provenant d'autres systèmes du véhicule, et traite ces données en situation de fonctionnement, afin de transmettre les signaux de commande corrects d'injection de carburant aux bobines des *injecteurs-pompes*.

Les fonctions gérées par le calculateur sont très diverses, comme :
- régulation de *vitesse* ;
- limiteur de régime moteur (ABS, ASR) ;
- démarrage à froid, *préchauffage* ;
- pression de *suralimentation* ;
- commande de boîte de vitesse ;
- commande de volets d'admission ;
- commande de freins d'échappement ;
- recyclage des gaz d'échappement, etc.

Le diagnostic électronique s'effectue soit avec un PC portable, ou un ordinateur dédié, et il est de plus en plus fréquent de charger ou modifier un programme interne dans une « Flash-eprom » (opération effectuée par le constructeur, ou réservée à son réseau officiel).

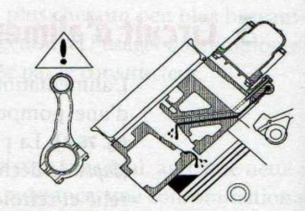
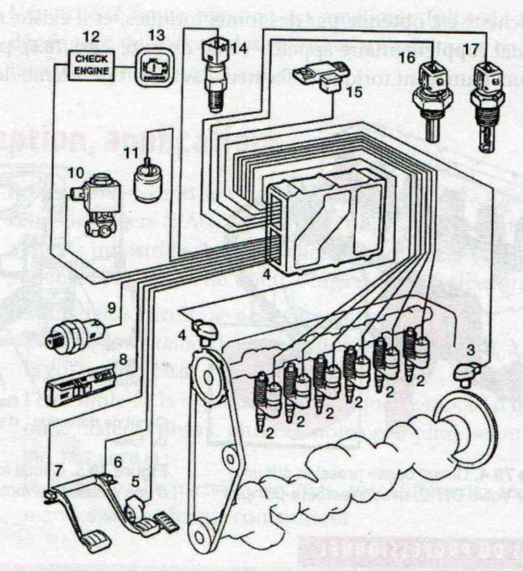
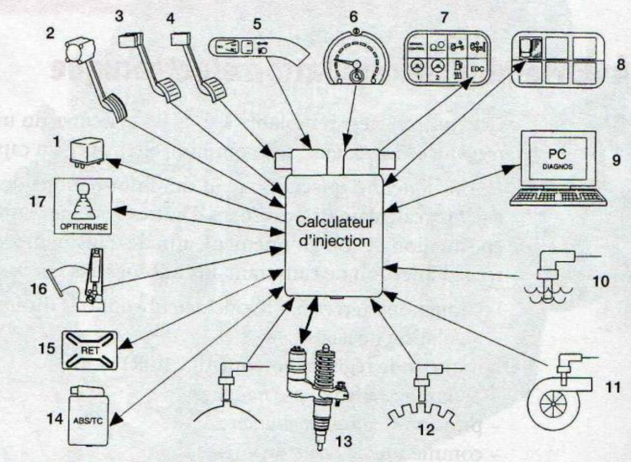


Figure 78.6. Dégâts possibles en cas de non vidange de carburant dans la culasse



1. Unité de commande
2. Bloc injecteur
3. Capteur de régime, volant moteur
4. Capteur d'arbre à cames
5. Capteur, pédale d'accélérateur
6. Contact de rupture, pédale de frein
7. Contact de rupture, pédale d'embrayage
8. Communicateur, régulateur d'allure
9. Contact de rupture, témoin d'avertissement pour frein de stationnement
10. Électrovanne, ralentisseur sur échappement
11. Électrovanne, frein de compression
12. Témoin CHECK ENGINE
13. Touche de diagnostic
14. Capteur de tachymètre
15. Capteur de pression de suralimentation
16. Capteur de températures de liquide de refroidissement
17. Capteur de température d'air de suralimentation

Figure 78.7. Gestion électronique des injecteurs-pompes sur Volvo



1. Relais d'alimentation
2. Capteur pédale d'accélérateur
3. Contacteur pédale de frein
4. Contacteur pédale embrayage
5. Programmateur de vitesse
6. Tachygraphe
8. Interrupteur diagnostic
9. Prise PC
10. Capteur température eau
11. Capteur pression et température
12. Capteur régime et capteur de phase
13. Injecteur pompe (× par le nombre de cylindres du moteur)
14. à 17. Liaisons avec autres systèmes

Figure 78.8. Gestion électronique des injecteurs-pompes sur moteur Scania *(Doc. Scania)*

Circuit haute pression sur les injecteurs-pompes

1 Constitution

Le circuit haute pression d'un injecteur-pompe comprend trois parties principales :

- la partie « *pompe* » (2) (mise en pression du carburant), avec *cylindre* et *piston*, correspondant à l'élément d'une pompe en ligne traditionnelle **(fig. 79.1)** ;
- la partie « *injecteur* » (3) (pulvérisation dans le *cylindre*), avec buse, aiguille, et ressort **(fig. 79.2)** ;
- la partie « vanne de commande » (1) de carburant, à commande électromagnétique **(fig. 79.1 et 79.2)**.

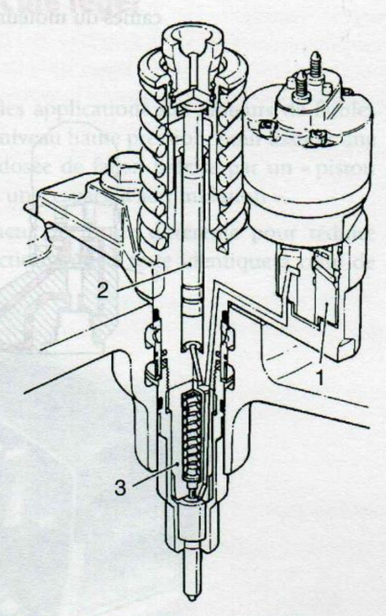


Figure 79.1. Parties principales d'un injecteur-pompe Delphi-Diesel sur moteur Volvo

2 Fonctionnement d'un injecteur-pompe standard

2.1 Phase de remplissage

Le piston (2) remonte **(fig. 79.2a)**, suivant le culbuteur de commande, l'électro-aimant (1) est ouvert, le carburant pénètre dans l'*injecteur-pompe* par les orifices d'admission et d'échappement (3) en communication avec la canalisation dans la *culasse*.

2.2 Phase d'écoulement ou d'attente

Le *culbuteur* descend, le *piston* (2) suit le mouvement **(fig. 79.2b)**, le carburant est repoussé dans l'autre sens à travers l'électro-aimant toujours ouvert (non piloté), et ressort à travers les orifices d'admission et d'échappement.

2.3 Phase d'injection

L'électro-aimant est piloté par le calculateur, le *piston* continue sa course vers le bas **(fig. 79.2c)**, la *pression* monte violemment dans la chambre de l'injecteur, l'*injecteur* s'ouvre à environ 300 bars. La pression continue à monter pendant la phase d'injection jusqu'à atteindre plus de 1 400 à 1 600 bar.

2.4 Fin d'injection

L'injection est interrompue par la fin d'excitation de l'électro-aimant (1) piloté par le calculateur (ouverture).

La chute de pression est immédiate, l'injecteur se referme, c'est la « fin d'injection » **(fig. 79.2d)**.

Le carburant suit alors le même cheminement que lors de la phase d'écoulement « b », jusqu'à la fin de course de descente du culbuteur de commande, puis recommence la phase de remplissage à la remontée du culbuteur commandé par l'arbre à cames du moteur.

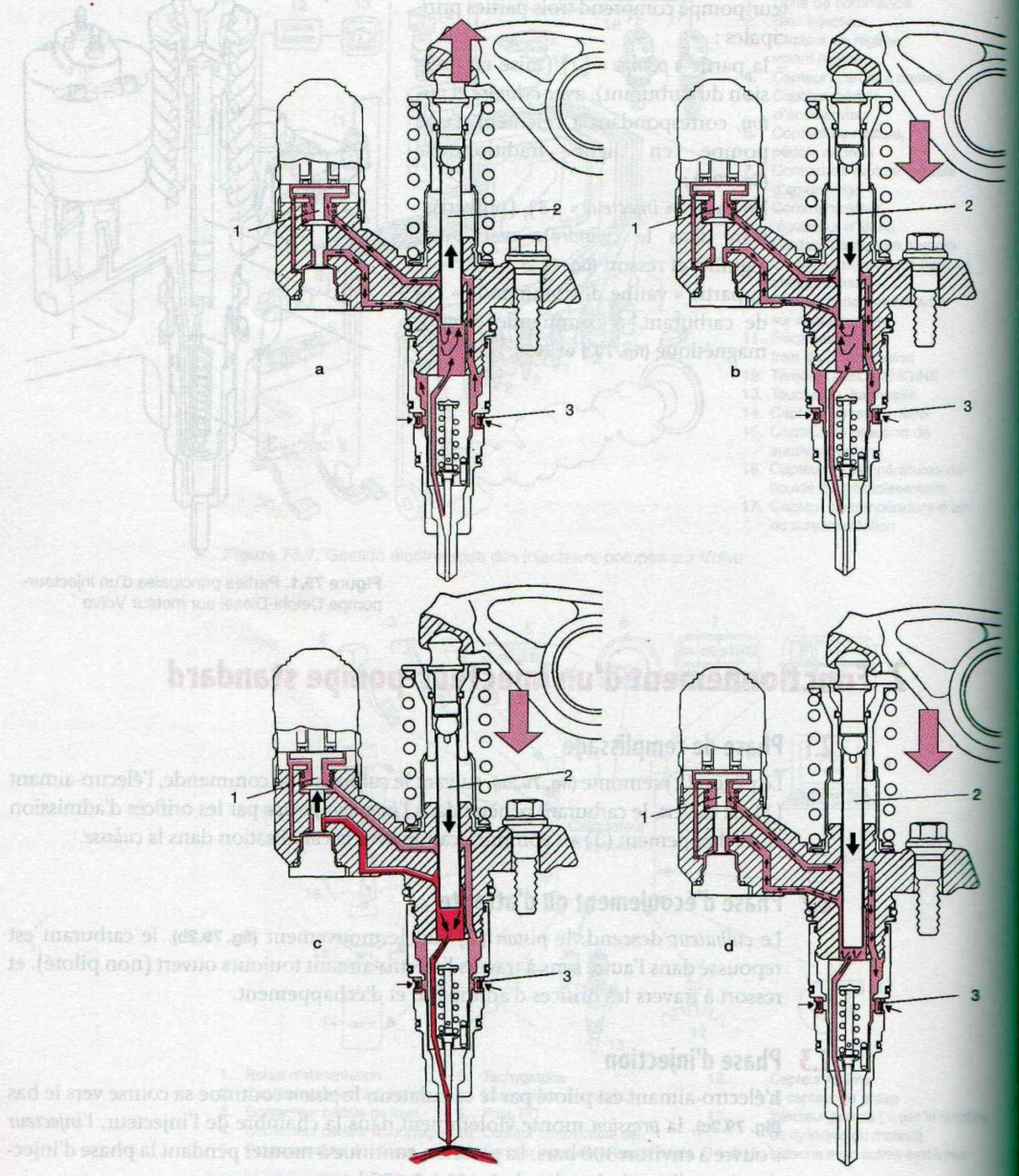


Figure 79.2. Différentes phases

Dysfonctionnement ■ Fumées, instabilités, le moteur boîte, suite à une mauvaise pulvérisation, ou un défaut de temps de réponse ou d'étanchéité de l'électro-aimant.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Un réglage est nécessaire lors du montage du porte-injecteur-pompe sur la culasse (positionnement du culbuteur par réglage, **fig. 79.2**).
- Une pré-injection est possible sur ce système (excitation en 2 phases), et un décalage du point de refoulement, selon le moment choisi par le calculateur d'injection.

3 Injecteur-pompe Bosch pour véhicule léger

3.1 Généralités

La conception de l'injecteur Bosch pour les applications sur moteurs de faibles cylindrées **(fig. 79.3 et 79.4)** est différente au niveau haute pression, pour assurer une « pré-injection » d'un *débit* très faible, et dosée de façon précise par un « piston accumulateur » **(fig. 79.4)**, se déplaçant dans un « espace d'accumulation ».

L'électrovanne de commande est également de forme différente pour réduire l'encombrement, mais le principe de fonctionnement reste identique à celui de l'*injecteur-pompe*.

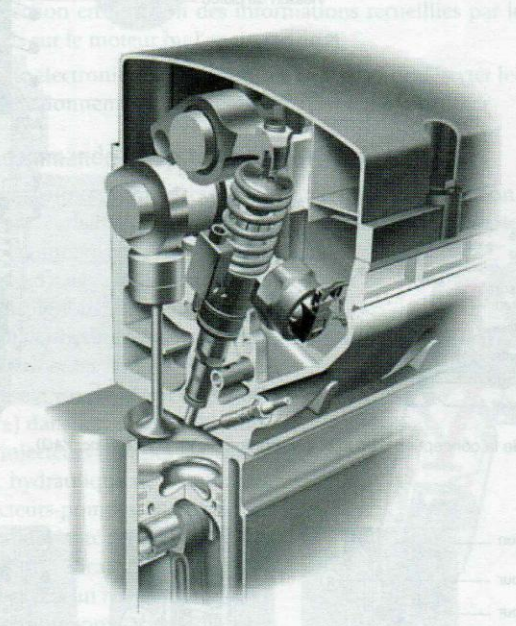


Figure 79.3. Implantation des injecteurs-pompes sur une culasse de moteur

3.2 Fonctionnement

Les différentes phases de fonctionnement sont les mêmes que l'injecteur-pompe des applications PL, excepté la phase d'injection **(fig. 79.2b)** qui s'effectue comme suit :

- **Pré-injection**

– Le basculeur est dans sa course descendante, dès l'activation (pilotée par le calculateur) de l'électrovanne (fermeture), la communication entre la *basse pression* et la *haute pression* est interrompue **(fig. 79.5)**.

La montée en pression dépasse le seuil de tarage du *ressort* de l'injecteur, l'aiguille se soulève d'une faible course, freinée par le dispositif « amortisseur » **(fig. 79.4 et 79.5b)**. C'est la « pré-injection » (environ 1 à 1,5 mm^3). La pression continue de monter, le piston « accumulateur » est déplacé vers le bas, dans l'espace d'accumulation. Ce déplacement provoque une petite chute de pression, et renforce le *tarage du ressort* de l'aiguille, qui se referme (fin de la phase de « pré-injection ») **(fig. 79.5c)**.

• Injection principale

Le piston continue sa course de compression **(fig. 79.5d)**, la pression dans la chambre haute pression atteint le nouveau seuil de tarage de l'injecteur, l'aiguille se soulève à nouveau et l'injection principale a lieu (la pression atteint plus de 2 000 bar (1 bar = 100 kPa)), et cessera dès la fin de l'excitation de l'*électrovanne* par le calculateur d'injection.

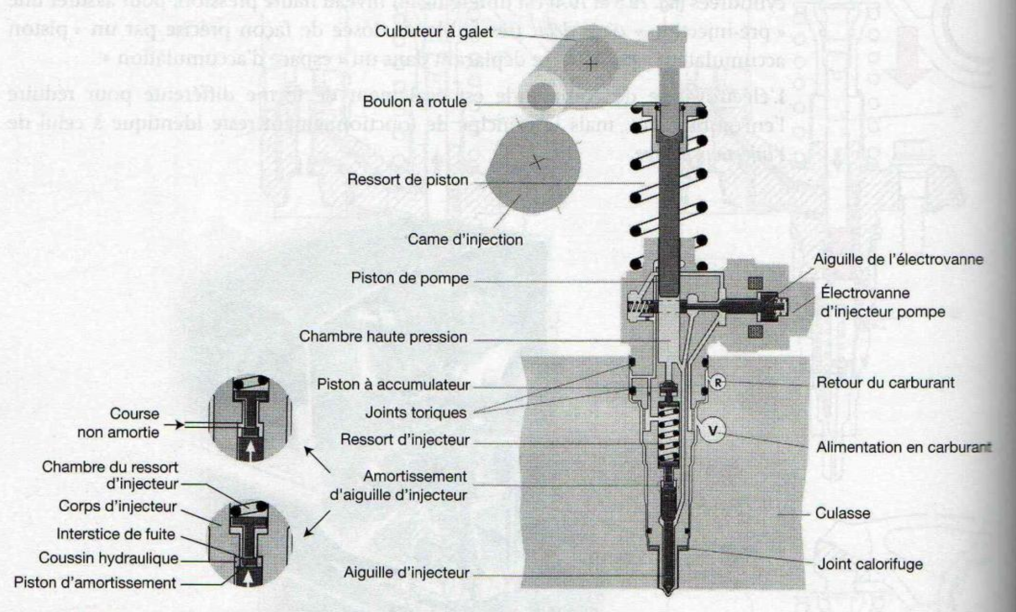


Figure 79.4. Vue de la conception d'un injecteur-pompe de VL Bosch *(Doc. VAG)*

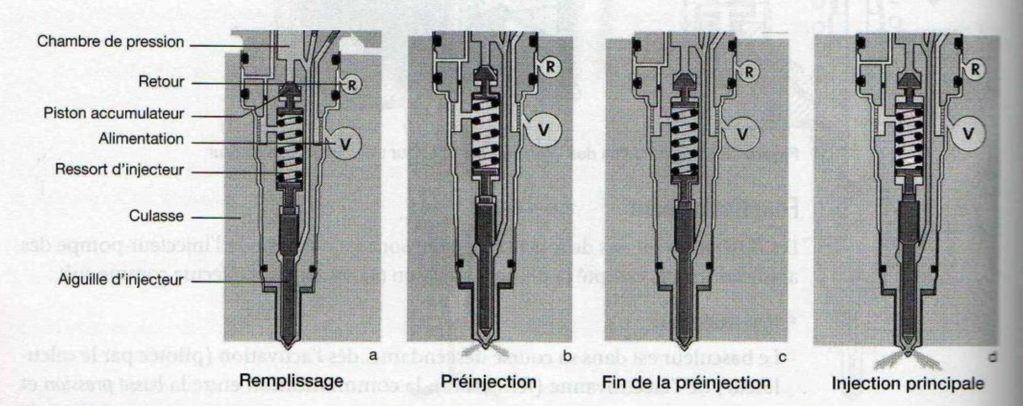


Figure 79.5. Principe de fonctionnement d'un injecteur-pompe Bosch avec un dispositif de pré-injection *(Doc. VAG)*

Injecteur-pompe à commande hydraulique HEUI (Hydraulic Electronic Unit Injector)

1 Généralités

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Le système haute pression de cet *injecteur*-pompe est commandé non plus par un système mécanique (*culbuteur* ou basculeur), mais par une pression hydraulique d'huile moteur (variable entre 50 à 210 bar, 1 bar = 100 kPa), géré par une valve « proportionnelle » pilotée par le calculateur d'injection sur chaque *injecteur-pompe* en fonction de l'ordre d'injection du moteur.
Avec cette technologie, il est possible d'obtenir une variation du point d'injection en fonction de la température moteur, du régime, de la charge, etc., et de procéder à une « pré-injection », d'où un meilleur rendement, et moins de pollution.

1.1 Organisation du système

Comme tout système de gestion électronique, le calculateur **(fig. 80.1)** pilote les paramètres d'injection en fonction des informations recueillies par les différents capteurs, répartis sur le moteur ou l'engin **(fig. 80.2)**.

Un diagnostic électronique est disponible et permet de détecter les différentes pannes ou dysfonctionnements rapidement.

1.2 Circuit de commande du système d'injection

Deux circuits distincts sont nécessaires :

- le *circuit de carburant d'alimentation* **(fig. 80.3)**, comprenant un *préfiltre* séparateur d'eau, une pompe de transfert à pignons, entraînée par la *pompe à huile* hydraulique, un filtre principal fin, et les circuits d'alimentation basse pression (3 à 4 bar, 1 bar = 100 kPa) dans les *culasses* du carburant aux injecteurs-pompes **(fig. 80.3)** ;
- le circuit hydraulique de commande des injecteurs-pompes **(fig. 80.3)** : ce circuit est alimenté en dérivation du circuit de lubrification traditionnel du moteur, vers un *réservoir* de gavage **(fig. 80.3)**, et une pompe hydraulique à *pistons* (à cylindrée variable). La pression hydraulique variable délivrée, régulée par une valve « d'activation proportionnelle » pilotée par le calculateur d'injection (celui-ci est refroidi par le carburant basse pression) **(fig. 80.3)**, permet de faire varier la vitesse de déplacement des pistons des *injecteurs-pompes*, et donc d'optimiser les *pressions d'injection* et le taux d'introduction selon les états de fonctionnement du moteur.

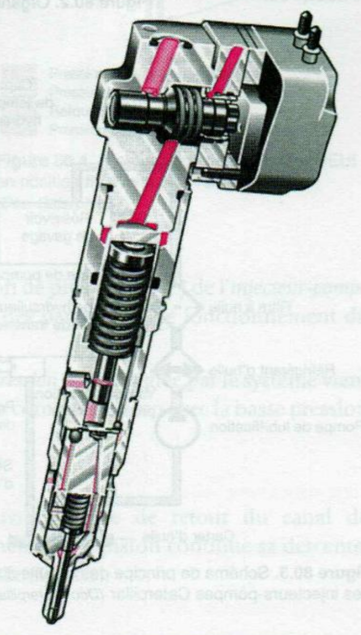


Figure 80.1. Injecteur-pompe à commande hydraulique (HEUI) *(Doc. Caterpillar)*

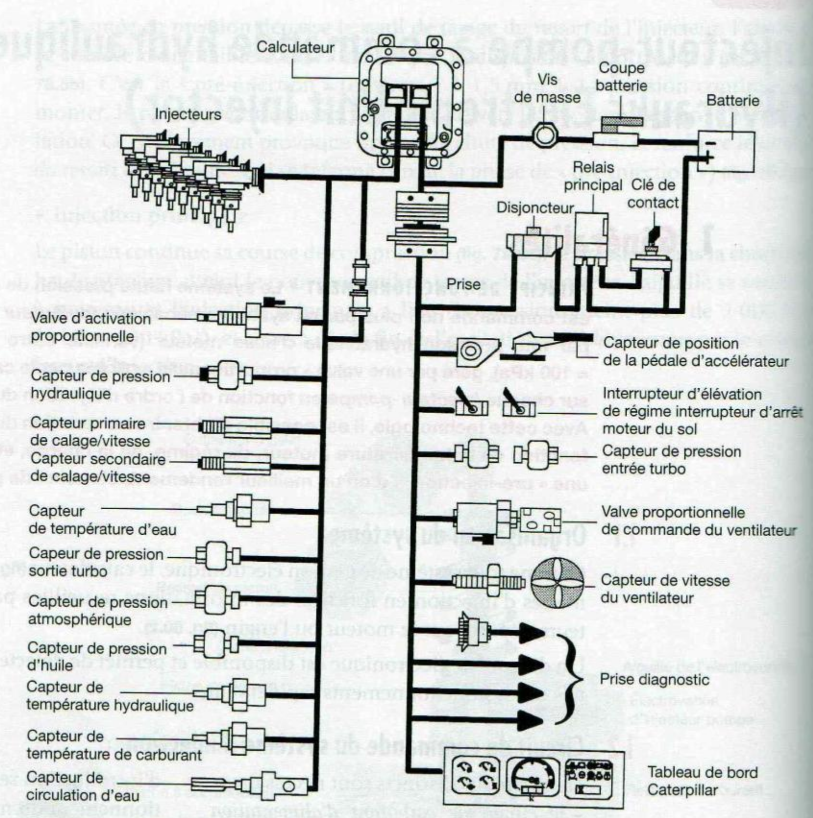


Figure 80.2. Organisation du système avec injecteurs-pompes HEUI *(Doc. Caterpillar)*

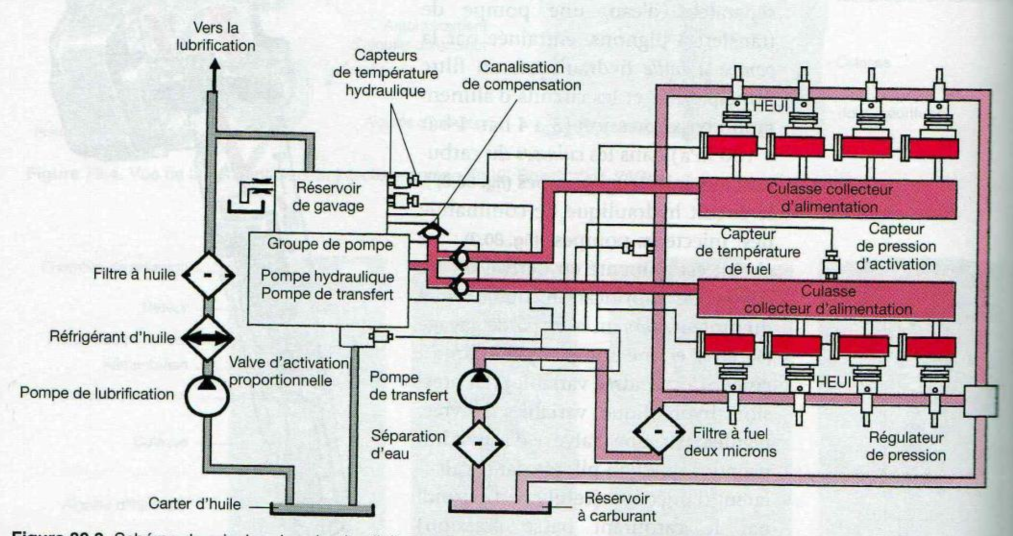


Figure 80.3. Schéma de principe des circuits d'alimentation basse pression, et circuit hydraulique de commande des injecteurs-pompes Caterpillar *(Doc. Caterpillar)*

2 Fonctionnement d'un injecteur-pompe HEUI

2.1 Constitution

Quatre éléments principaux **(fig. 80.4)** :
- l'électro-aimant de commande (1) ;
- le système de pompage (2) ;
- l'injecteur (3) ;
- les *clapets* d'isolement (a, b, c).

2.2 Fonctionnement

• **Fin d'injection, remplissage**

Dès la désactivation de l'électro-aimant (1), le clapet de commande (d) obture l'arrivée de la pression d'huile, et ouvre le canal de vidange vers l'intérieur du *cache culbuteurs* **(fig. 80.4)**.

Le poussoir et le piston (2) remontent immédiatement, l'injection cesse, le remplissage de carburant basse pression s'effectue par aspiration (ouverture de la bille du clapet a).

Une *pression « résiduelle »* d'environ 200 bar (1 bar = 100 kPa), est maintenue dans le nez d'injecteur par le clapet anti-retour (b), et le *tarage du ressort* d'injecteur.

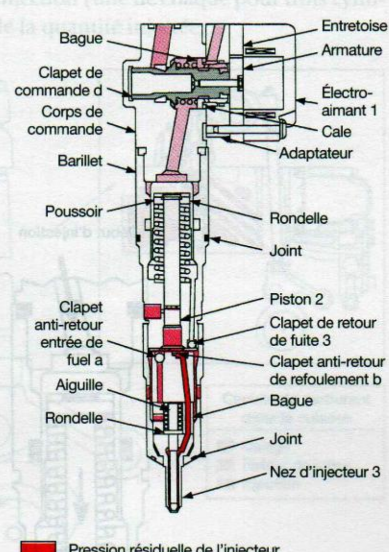


Figure 80.4. Injecteur-pompe Caterpillar HEUI en position fin d'injection, remplissage *(Doc. Caterpillar)*

• **Début d'injection**

Le calculateur active l'électro-aimant (tension de plus de 100 V) de l'*injecteur-pompe* à un moment précis du cycle, en fonction des paramètres de fonctionnement du moteur (choix du début d'injection).

Le *clapet* de commande s'ouvre **(fig. 80.5)**, la *pression d'huile* réglée par le système vient appuyer sur le poussoir, le piston descend, la communication avec la basse pression est coupée, l'injection commence **(fig. 80.6)**.

• **Fin de pré-injection**

Dès que l'orifice radial du *piston* découvre l'orifice de retour du canal de décompression, l'injection cesse momentanément, le piston continue sa descente, une petite quantité de carburant a été injectée **(fig. 80.6)**.

• **Injection principale**

L'orifice radial du piston dépasse le canal de décompression, l'injection reprend, et continue tant que l'électro-aimant est activé **(fig. 80.5 et 80.6)**.

Dès la fin d'activation de l'électro-aimant, l'injection est interrompue.

Le clapet de retour des fuites **(fig. 80.4)**, permet la dépressurisation de la chambre du ressort de piston.

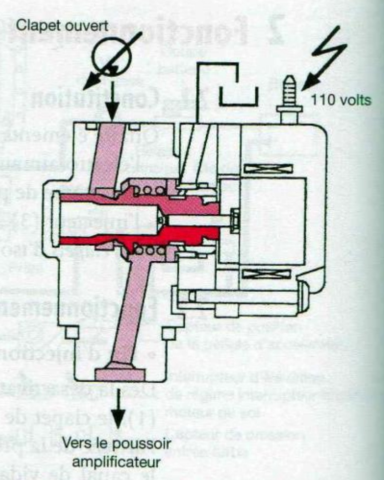


Figure 80.5. Commande du clapet de pression d'huile par l'électro-aimant

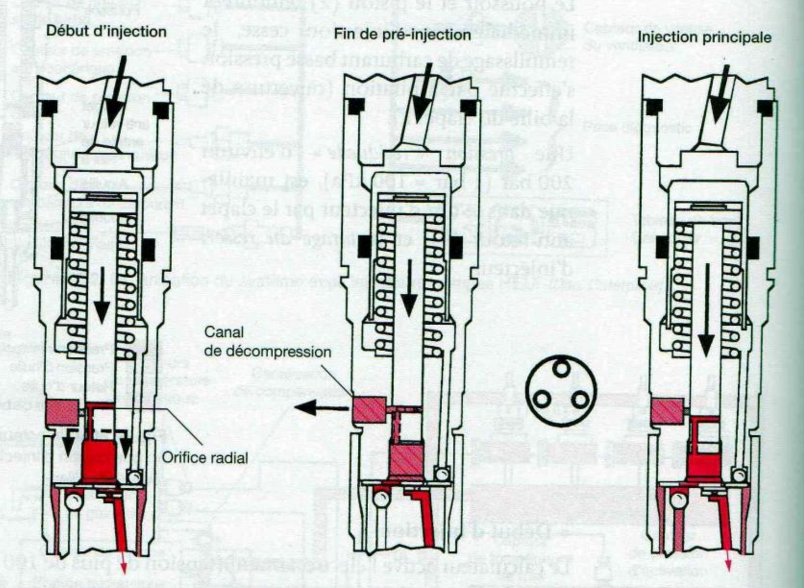


Figure 80.6. Fonctionnement de l'injecteur-pompe HEUI *(Doc. Caterpillar)*

Dysfonctionnement

■ **Fumées, instabilités, suite à des problèmes de pression d'huile incorrecte, ou de grippage de poussoirs hydrauliques.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Ce modèle d'injecteur-pompe hydraulique est une innovation Caterpillar, il permet une gestion du point d'injection très souple, une pré-injection (non modulable), et un « taux d'introduction » variant selon la pression d'huile hydraulique appliquée sur le poussoir.
- La culasse ne comporte plus de système de commande mécanique, mais doit comporter des canaux de carburant et d'huile, en plus des organes hydrauliques de variation de la pression d'huile **(fig. 80.3)**.

Injecteur-pompe Scania HPI, à buse ouverte

1 Généralités

Ce nouveau produit, fruit des recherches conjointes entre la société « Cummins » et « Scania », est utilisé pour gérer hydrauliquement le point et la durée d'injection des électrovalves pilotées par le calculateur d'injection (une de chaque pour trois cylindres) permettant la gestion du calage, et de la quantité injectée.

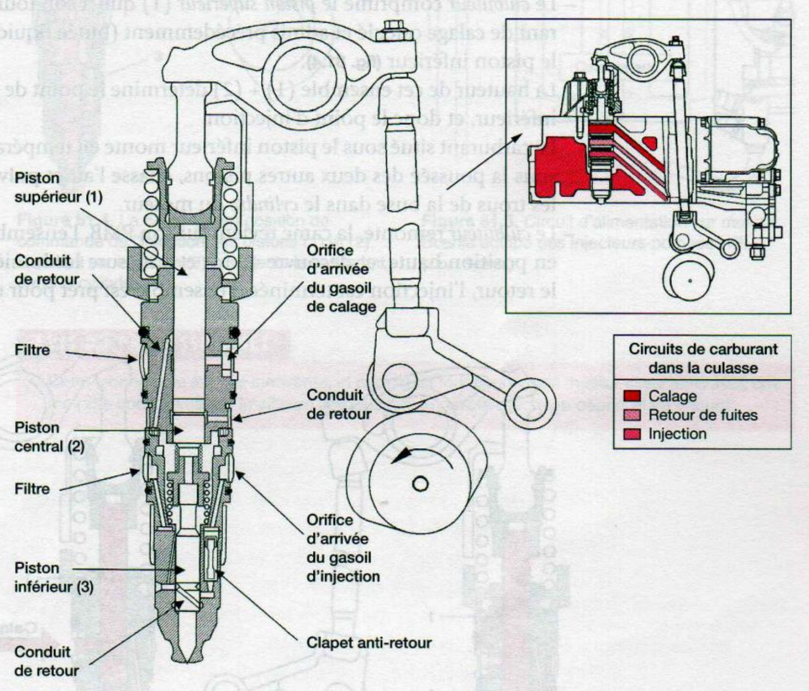


Figure 81.1. Nouvel injecteur-pompe haute pression Scania HPI, à buse ouverte : en médaillon, implantation dans une culasse ; en coupe, position came haute, les trois pistons comprimés *(Doc. Scania)*

2 Constitution

La technologie de ce produit **(fig. 81.1 à 81.4)** est nouvelle, avec trois *pistons* de commande, chacun muni d'un *ressort* de rappel :

- un *piston supérieur* (1), commandé par le *culbuteur* en liaison avec une came spéciale de l'arbre à cames du moteur ;
- un *piston central* (2), qui permet de modifier le point d'injection, par interposition de carburant entre le piston supérieur et celui-ci ;
- un *piston inférieur* (3), commandé par l'appui du piston central, et chargé de comprimer et d'injecter le carburant à travers les orifices de la buse d'injection.

3 Fonctionnement

- Butée mécanique haute des trois pistons, came au point mort bas **(fig. 81.2)** : les pistons sont remontés sous la pression des *ressorts* de chacun, le circuit est en phase de préparation durant la rotation de la came restant au PMB.
- L'*électrovanne* de calage **(fig. 81.5)** est piloté par le calculateur pour admettre, entre le piston supérieur et le piston central, une quantité de carburant précise (les deux pistons vont donc s'éloigner l'un de l'autre), et cette distance précise va déterminer le point d'injection pour le cycle en cours **(fig. 81.3)**. La came arrive dans l'attaque de la montée, le moteur est en phase de compression **(fig. 81.3)**.
- L'électrovanne de débit d'injection **(fig. 81.5)** est pilotée par le calculateur, et le carburant est amené sous le piston inférieur, la *pression de compression* empêche celui-ci de couler dans la chambre de combustion.
- Le *culbuteur* comprime le *piston supérieur* (1) qui, à son tour, comprime le carburant de calage calculé et admis précédemment (butée liquide incompressible), et le piston inférieur **(fig. 81.4)**.

  La hauteur de cet ensemble (1) + (2) détermine le point de contact avec le piston inférieur, et donc le point d'injection.

  Le carburant situé sous le piston inférieur monte en température, celui-ci descend sous la poussée des deux autres pistons, chasse l'air et pulvérise le carburant par les trous de la buse dans le *cylindre* du moteur.
- Le *culbuteur* remonte, la came revient sur son PMB, l'ensemble des pistons revient en position haute, et découvre au fur et à mesure les lumières d'évacuation vers le retour, l'injection est terminée, l'ensemble est prêt pour un nouveau cycle.

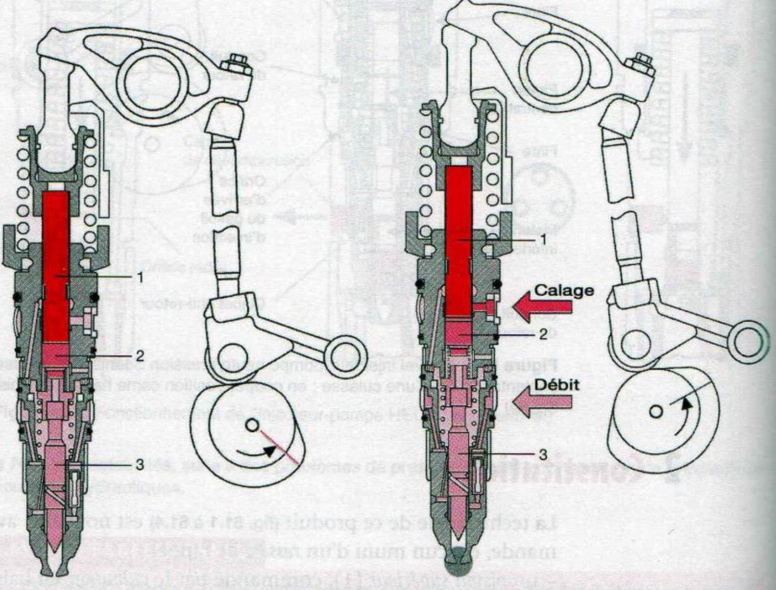


Figure 81.2. Position des pièces came au PMB, pistons en position haute *(Doc. Scania)*

Figure 81.3. Début de l'attaque de la came, l'électrovanne de calage dose la quantité de carburant entre les pistons (1) et (2) ; l'électrovanne de débit commence à alimenter la partie basse de l'injecteur

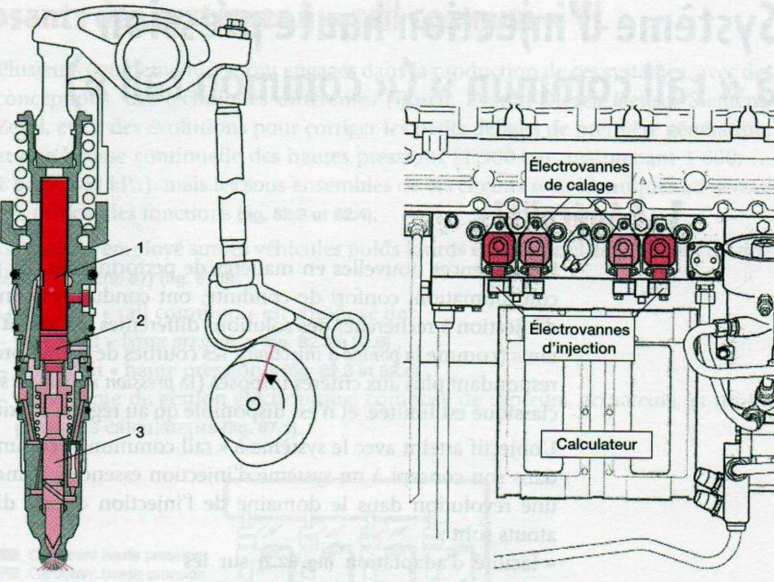


Figure 81.4. La came est en position de commande de l'injection, les pistons (1) et (2), appuient sur le piston (3) qui injecte le carburant dans le cylindre

Figure 81.5. Circuit d'alimentation sur moteur Scania équipé des injecteurs-pompes HPI *(Doc. Scania)*

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Cette technologie est très innovante, et permet un fonctionnement moteur silencieux, avec une moindre consommation (meilleure combustion, le gazole injecté au départ étant chaud).

Système d'injection haute pression à « rail commun » (« common rail »)

1 Généralités

Les exigences nouvelles en matières de performances, de pollution, de baisse de consommation, confort de conduite, ont conduit les constructeurs de matériels d'injection à rechercher des solutions différentes **(fig. 82.1 et 82.7)** des matériels existants (comme la *pompe à injection*), les courbes de hautes pressions générées ne correspondant plus aux critères imposés (la *pression maximale* sur une *pompe à injection* classique est limitée, et n'est disponible qu'au régime maximal du moteur).

L'objectif atteint avec le système à « rail commun » (common rail), qui ressemble dans son concept à un système d'injection essence à commande séquentielle, est une révolution dans le domaine de l'injection directe diesel, et ses principaux atouts sont :

- facilité d'adaptation **(fig. 82.2)** sur les moteurs à injection directe sans grosses modifications (contrairement à l'*injecteur-pompe*, voir **fiche 78**) ;
- indépendance totale entre la pression disponible pour l'injection et le régime ou la charge du moteur ;
- très hautes pressions (1 300 à plus de 1 800 bar ; 1 bar = 100 kPa), parfaitement gérées, et communes à tous les *injecteurs*, permettant une combustion optimisée, donc moins de pollution ;
- possibilités d'effectuer plusieurs injections par cycle (1 préinjection, 1 injection principale, 1 postinjection), et à terme, prévision de 4 à 5 injections par cycle (réduction des bruits, confort de conduite, diminution de la pollution, gestion de *filtres* à particules) **(fig. 87.2 à 87.4)**.

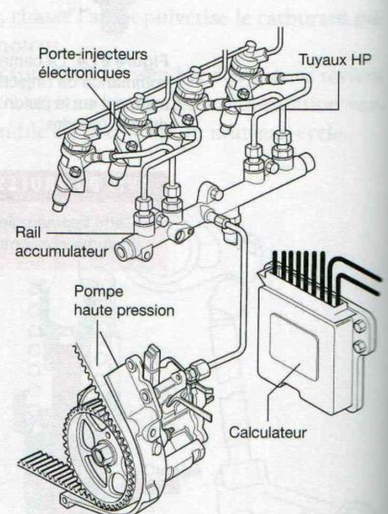


Figure 82.1. Système haute pression première génération de Bosch

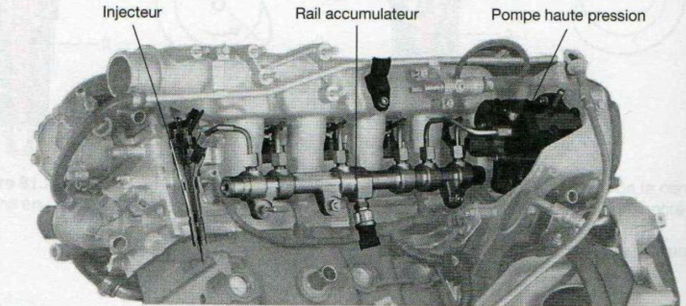


Figure 82.2. Implantation d'un système « rail commun » Bosch (common rail) sur un moteur diesel à injection directe *(Doc. Bosch)*

2 Composants des systèmes à « rail commun » VL

Plusieurs équipementiers sont engagés dans la production de ces systèmes, avec des conceptions, des techniques différentes (Bosch, Delphi-Diesel, Denso, Siemens, Zexel, etc.), des évolutions pour corriger les petits défauts de première génération, et une hausse continuelle des hautes pressions (1 300 bar, maintenant 1 800, … 1 bar = 100 kPa), mais les sous-ensembles de ces circuits sont identiques au niveau des principales fonctions **(fig. 82.3 et 82.4)**.

Le système employé sur les véhicules poids lourds et industriel est différent du système VL **(fiche 87) (fig. 87.5)**.

Le système « rail commun » est composé de :

- un *circuit « basse pression »* **(fig. 82.3 à 82.6)** ;
- un circuit « haute pression » **(fig. 82.3 et 82.4)** ;
- un système de gestion électronique, composé de capteurs, actuateurs, et un ou plusieurs calculateurs **(fig. 87.1)**.

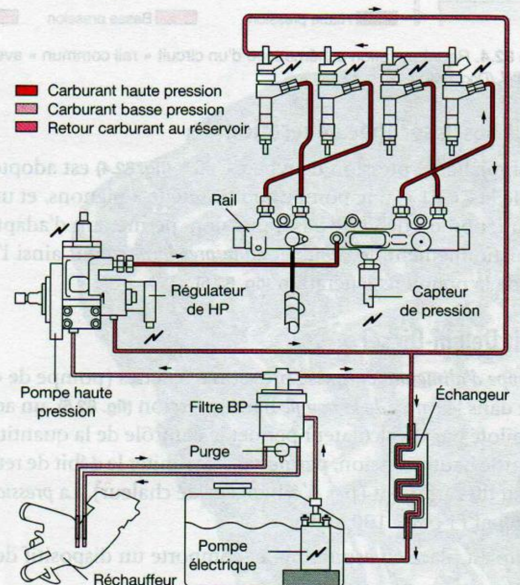


Figure 82.3. Circuits de carburant d'un système « rail commun » Bosch sur application PSA *(Doc. PSA)*

3 Circuits basse pression

3.1 Circuit Bosch première génération

Le carburant est mis en basse pression (1,5 à 2,5 bar ; 1 bar = 100 kPa) par une *pompe d'alimentation* électrique, ou à pignons **(fig. 82.7) (fiche 28)**.

La pression est régulée par un clapet placé soit dans le *filtre* (montage PSA, **fig. 82.3**), soit sur le circuit et vient alimenter la pompe haute pression de type « CP1 ». Un dispositif dirige ou non le carburant selon sa température vers un réchauffeur **(fig. 82.3)**. Le circuit de retour comprend un échangeur de température, situé soit sur le bloc moteur, soit sous le châssis du véhicule (sur le système Bosch de première génération, **fig. 82.3 et 82.4**).

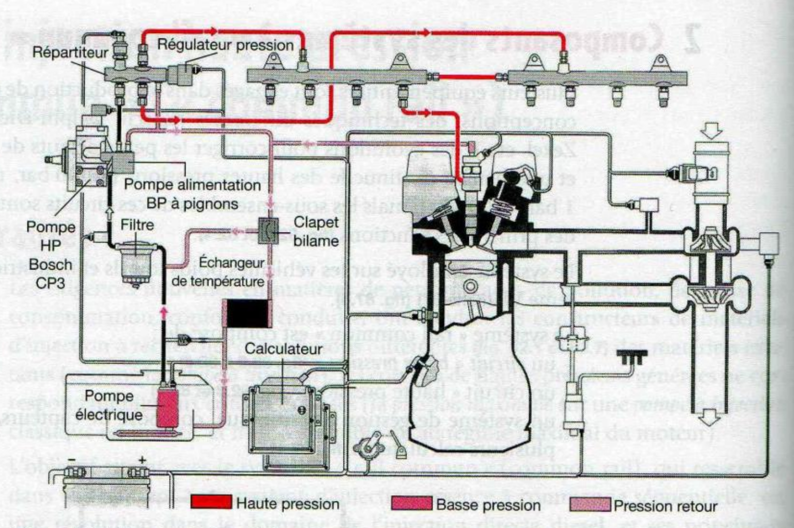


Figure 82.4. Représentation schématique d'un circuit « rail commun » avec pompe Bosch « CP3 » sur BMW *(Doc. BMW)*

3.2 Circuit Bosch seconde génération

La pompe haute pression de type « CP3 » **(fig. 82.4)** est adoptée. Elle comprend, en plus de la « CP1 », une pompe additionnelle à pignons, et un dispositif optionnel de limitation du débit de basse pression, permettant d'adapter, dans tous les états de fonctionnement, le *débit de haute pression*, évitant ainsi l'échauffement du système de la première génération **(fig. 83.5)**.

3.3 Circuit Delphi-Diesel

La *pompe d'alimentation* basse pression à palettes (pompe de « transfert ») est incorporée dans le *carter de la pompe* haute pression **(fig. 82.5)**, un actuateur de basse pression piloté par le calculateur permet le contrôle de la quantité de carburant envoyé à la partie haute pression, permettant de limiter le débit de retour, et l'échauffement excessif du carburant (pas d'échangeur de chaleur). La *pression de transfert* est régulée à 6 bar (1 bar = 100 kPa).

Le filtre est placé en aspiration, et comporte un dispositif de *réchauffage* en circuit fermé.

Le retour des fuites de la pompe haute pression comporte un système « venturi », permettant la mise en dépression des retours d'injecteurs **(fig. 82.6)**.

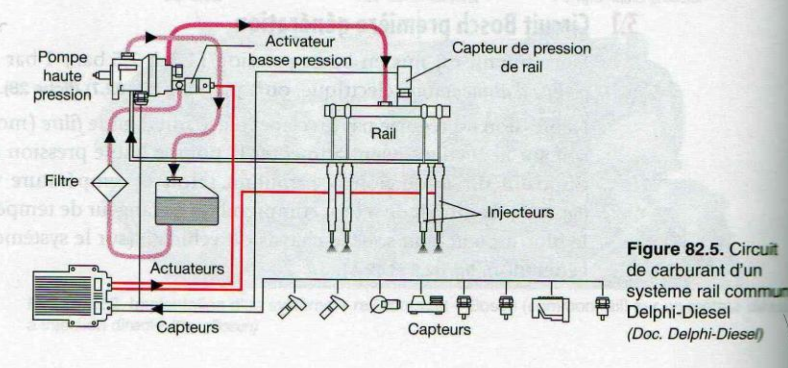


Figure 82.5. Circuit de carburant d'un système rail commun Delphi-Diesel *(Doc. Delphi-Diesel)*

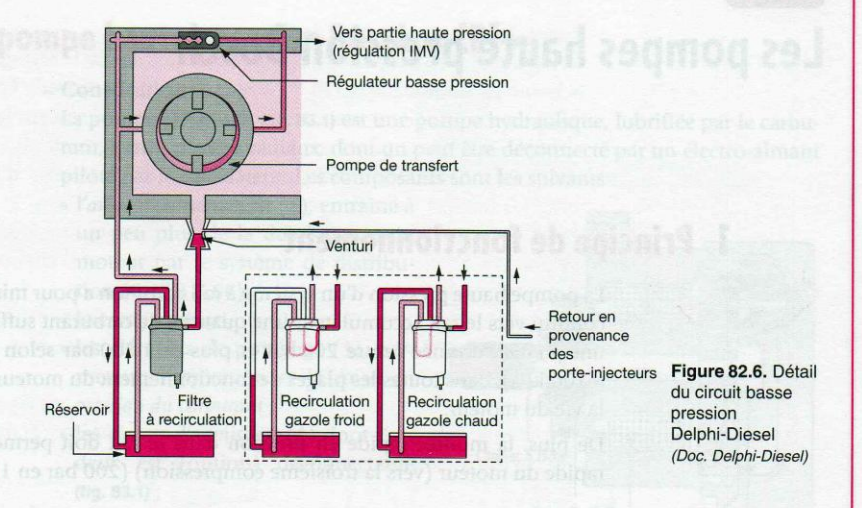


Figure 82.6. Détail du circuit basse pression Delphi-Diesel *(Doc. Delphi-Diesel)*

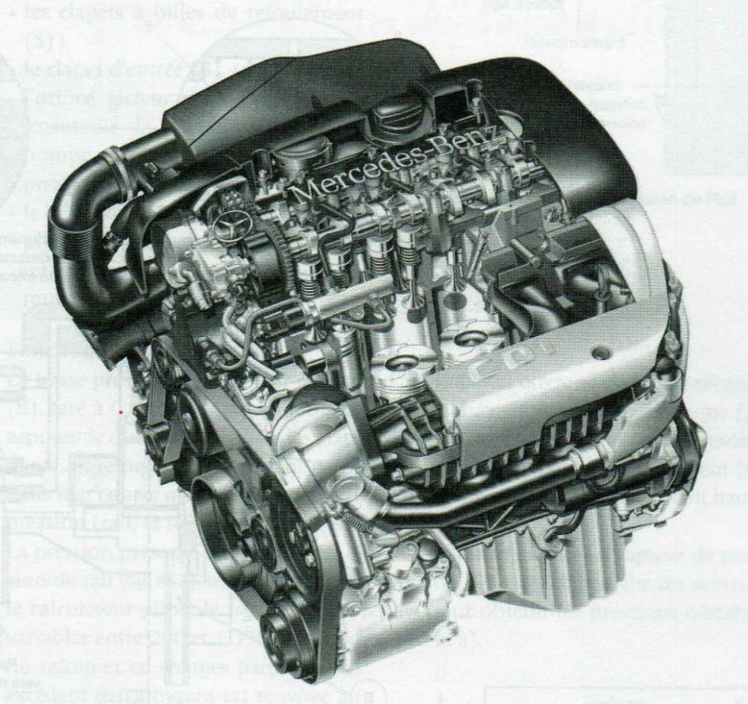


Figure 82.7. Moteur Mercédès CDI avec injection système « common rail » Bosch *(Doc. Mercédès)*

Dysfonctionnement

■ **La propreté de l'environnement lors d'une intervention sur les circuits de carburant est primordiale, le non respect de ces précautions peut entraîner une casse moteur !**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La pression maximale très élevée permet de diminuer la taille des gouttelettes (diminution du délai d'inflammation) et de diminuer la durée d'injection.
- Le système à rail commun permet d'adapter tous les paramètres d'injection aux besoins (loi d'injection, injections multiples, grandes variations du point d'injection, etc.), comme aucun autre système ne peut le faire.

Les pompes haute pression Bosch

1 Principe de fonctionnement

La pompe haute pression d'un système à rail commun a pour mission d'envoyer en continu vers le rail accumulateur une quantité de carburant suffisante sans excès à une *pression* donnée (entre 200 bar et plus de 1 800 bar selon le système ; 1 bar = 100 kPa), dans toutes les plages de fonctionnement du moteur, et pendant toute la vie du moteur.

De plus, la montée rapide en pression dans le rail doit permettre le démarrage rapide du moteur (vers la troisième compression) (200 bar en 1,5 tour).

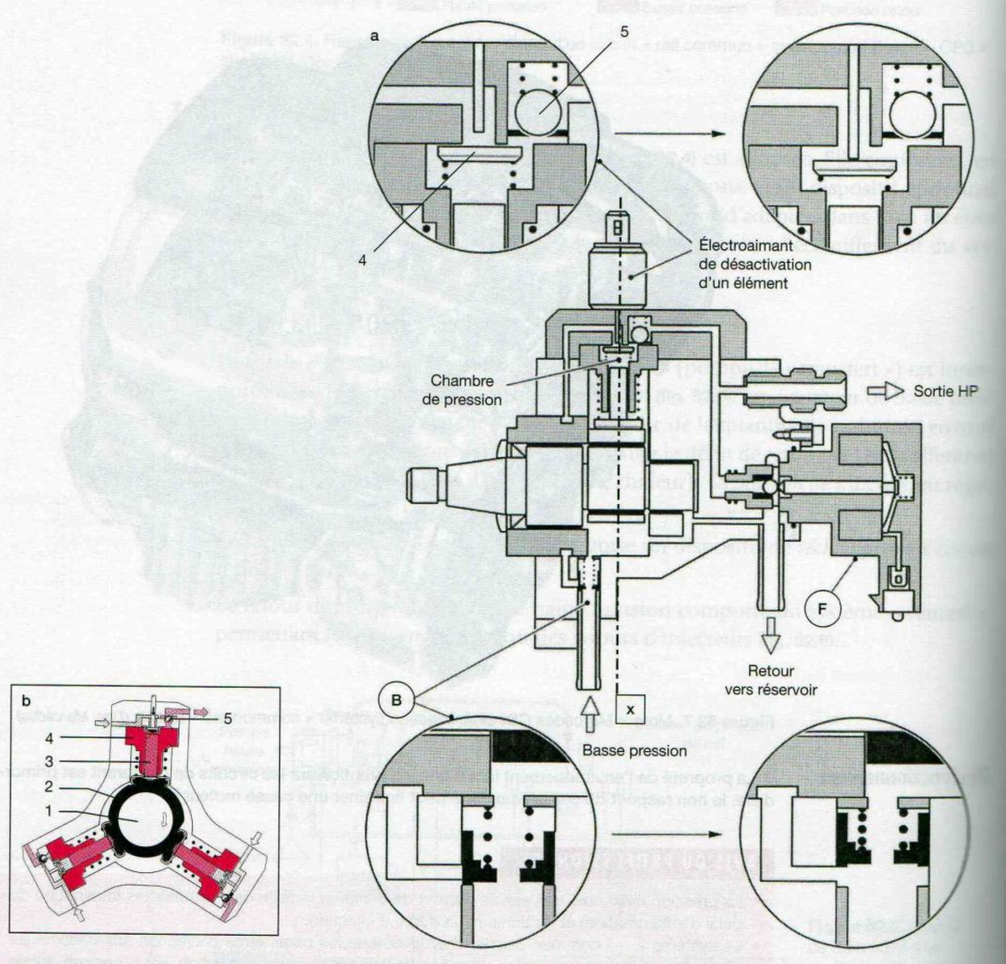


Figure 83.1. a) Vues en coupe d'une pompe haute pression Bosch CP1, avec détails des différents clapets *(Doc. PSA)*.
b) Vue en coupe partielle de la pompe CP1 Bosch.

2 La pompe haute pression Bosch « CP1 »

– **Constitution**

La pompe HP Bosch **(fig. 83.1)** est une pompe hydraulique, lubrifiée par le carburant, à trois pistons radiaux, dont un peut être déconnecté par un électro-aimant piloté par le calculateur. Les composants sont les suivants :

- l'*arbre d'entraînement* (1), entraîné à un peu plus de la demi-vitesse du moteur par le système de distribution (0,47 à 0,66) ;
- la came excentrique (2) ;
- les éléments de pompage (3), permettant l'aspiration et la mise en *pression du carburant* ;
- les *clapets d'admission* (4) dont l'un deux est (option) déconnectable **(fig. 83.1)** ;
- les clapets à billes de refoulement (5) ;
- le clapet d'entrée (B), taré à 0,8 bar, l'orifice gicleur central permet de maintenir la lubrification de la pompe en cas de manque de basse pression **(fig. 83.1)** ;
- le *régulateur de haute pression* (F), piloté par le calculateur d'injection, qui gère la pression dans le rail accumulateur **(fig. 83.2)**.

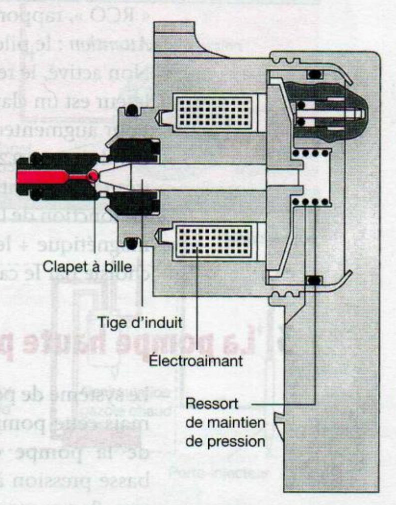


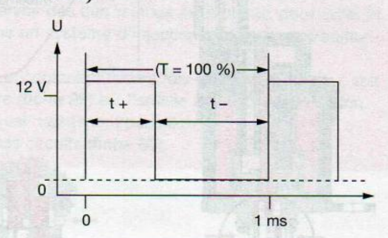
Figure 83.2. Régulateur de pression de Rail Bosch *(Doc. Bosch)*

– **Fonctionnement**

La basse pression délivrée par la *pompe d'alimentation* ouvre le clapet de sécurité (B), taré à 0,8 bar, les *pistons* radiaux (3) actionnés par la came excentrique (2) aspirent le carburant à travers les clapets d'aspiration (4) dans leur course descendante, et refoulent le carburant en ouvrant les billes clapets de refoulement (5) dans leur course montante **(fig. 83.1)**. Le *débit refoulé* est envoyé vers le circuit haute pression (rail, et régulateur de pression (F)).

La pression présente dans le rail est détectée et transmise par un capteur de pression de rail **(fig. 85.2)** au calculateur. En fonction des états de marche du moteur, le calculateur pilote le *régulateur de pression* pour obtenir les pressions désirées, variables entre 200 et 1 350 bar (1 bar = 100 kPa).

Au *ralenti* et en charges partielles, un excédent de carburant est renvoyé au réservoir, l'énergie produite par la compression dans la pompe se dissipe par effet Joule, produisant un échauffement de ce carburant, et le passage dans un échangeur **(fig. 82.3 et 82.4)** placé sous le véhicule, ou dans le compartiment moteur, permet de limiter la température dans le réservoir.



t – = temps de commande de l'électro-aimant
t + = temps de repos de l'électroaimant
T 100 % = une période

Figure 83.3. Rapport cyclique d'ouverture, avec une fréquence de 1 000 Hz

- **Régulateur de pression de rail**
Le régulateur de pression de rail **(fig. 83.2 et 83.3)** assure le réglage et la régularité de la haute pression dans le rail accumulateur, en fonction de l'état de fonctionnement du moteur (il est placé soit accolé à la pompe, soit sur le rail).
L'électro-aimant est piloté par le calculateur, par un courant à pulsage à une fréquence de 1 kHz (1 000 Hz) (modulation de la largeur d'impulsion, appelé « RCO », rapport cyclique ouverture) **(fig. 83.3)**.
Attention : le pilotage est effectué par le « + », ou par le « – », selon les montages !
Non activé, le ressort **(fig. 83.2)** maintient une pression d'environ 100 bar, le régulateur est un clapet simple.
Pour augmenter la pression de rail, le calculateur active l'électro-aimant, la tige d'induit **(fig. 83.2)** vient appuyer sur la bille du clapet **(fig. 83.2)**, la pression monte très rapidement dans le rail.
En fonction de la largeur d'impulsions (RCO variable), un équilibre entre la force magnétique + le ressort, et le circuit haute pression va s'établir, à une pression choisie par le calculateur.

3 La pompe haute pression Bosch « CP3 »

- Le système de pompage est identique, mais cette pompe comporte, en plus de la pompe « CP1 », une pompe basse pression à pignons **(fig. 83.4)**, et une *électrovanne de régulation* de *débit* côté aspiration. Le gavage est effectué par une pompe électrique immergée dans le réservoir, et la pression générée par la pompe à pignons est de 4,5 à 6 bar (1 bar = 100 kPa).
- La haute pression délivrée peut atteindre 1 600 bar, et la possibilité de modulation du débit à l'aspiration permet d'éviter les inconvénients du système « CP1 » (échauffement du carburant, clapet de décharge sur le rail, **fig. 83.5**).



Figure 83.4. Pompe haute pression « CP3 » Bosch sur moteur BMW « M67 » *(Doc. BMW)*

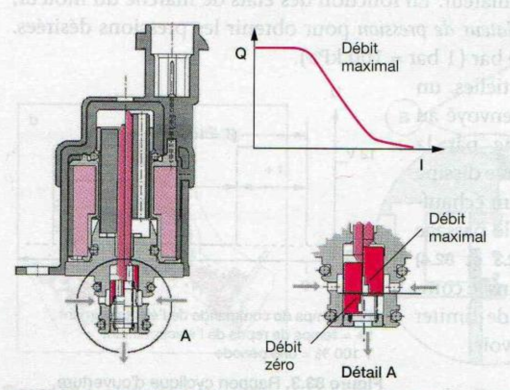


Figure 83.5. Pompe haute pression Bosch « CP3 » *(Doc. Bosch)*

Actuateur
basse pression
Régulation
de la pression de transfert
IMV
Pompe de transfert
Pompe haute pression
Clapet
de refoulement
Clapet
d'admission
Venturi
Rail sphérique
Filtre
à recirculation
Recirculation
gazole froid
Recirculation
gazole chaud
Porte-injecteur

Figure 83.6. Vue externe et schéma de la circulation du carburant interne d'une pompe haute pression « Delphi-Diesel » *(Doc. Delphi-Diesel)*

Dysfonctionnements

- **Grippage des éléments, rupture des ressorts, dus à des impuretés, présence d'eau, ou mauvaise lubrification du carburant (système Bosch).**
- **Coincement d'un clapet d'aspiration, débit de pompe et pression de rail faible (– 30 %) (système Bosch).**
- **Destruction de la came et des patins galets (système Delphi-Diesel).**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La pompe haute pression est un organe très sollicité, et son premier ennemi est la présence d'eau dans le carburant. Il faut donc prendre toutes les précautions pour éviter cette présence, purger le *filtre* souvent, et faire le plein du *réservoir* dès que la jauge est à moitié, pour éviter la condensation (carburant plus chaud que dans un système d'injection avec pompe traditionnelle).
- La purge du circuit s'effectue soit en mettant le contact plusieurs fois (pompe électrique), soit en incorporant une pompe d'amorçage à poire **(fiche 29)** sur l'arrivée de la pompe pression.
- La réparation de cette pompe haute pression est maintenant possible.
- Attention aux précautions d'intervention sur ces circuits **(fiche 88)**.

Autres pompes haute pression

1 La pompe haute pression Delphi-Diesel

1.1 Généralités

La pompe haute pression **(fig. 84.1)** de cette société est conçue avec un système interne de haute pression à pistons radiaux **(fiches 46 et 54)**, mais la partie tournante est cette fois la came, et non le rotor. La lubrification est assurée par le passage du carburant.

La *pompe d'alimentation* (appelée « pompe de transfert ») est incorporée et d'un modèle identique à la pompe « EPIC », et aspire le carburant au réservoir **(fig. 83.6)**.

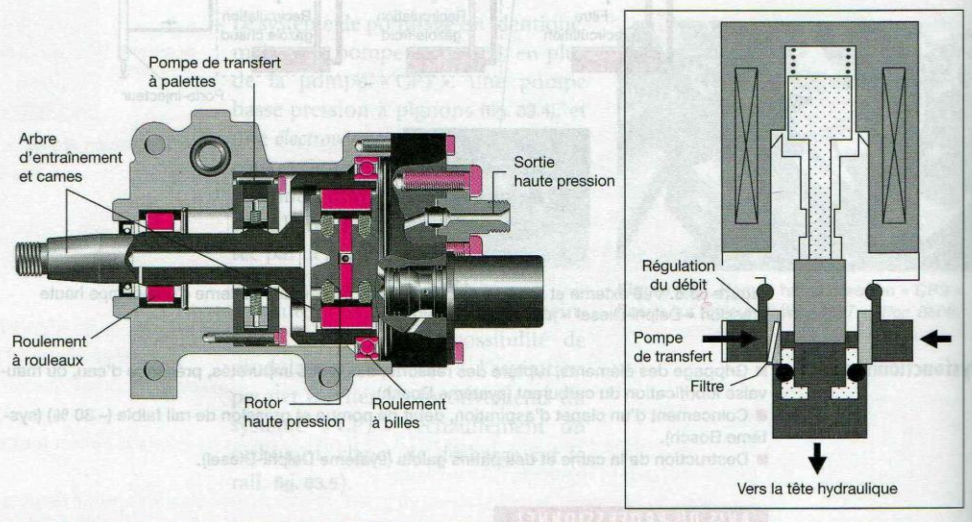


Figure 84.1. Vue en coupe d'une pompe haute pression et de son actuateur de débit Delphi-Diesel *(Doc. Delphi-Diesel)*

1.2 Fonctionnement

Un actuateur basse pression (IMV : Inlet Metering Valve), intercalé entre le circuit basse pression et le circuit de pompage haute pression, permet le contrôle continu de la quantité de carburant envoyé entre les *pistons* radiaux de pompage **(fig. 84.2)**.

Ce système dit « de deuxième génération » permet de supprimer (option) le *clapet* de décharge du rail, et le refroidissement du carburant de retour, le débit de haute pression étant exactement adapté aux besoins instantanés du système (débits de fuites réduits).

Le calculateur détermine en permanence la valeur de courant envoyé à la bobine de l'actuateur, pour obtenir le débit et la pression correcte pour chaque état de fonctionnement du moteur.

Le *courant de commande* varie de 0 à environ 800 mA, à une tension de 12 V, il est inversement proportionnel à la pression (l'IMV est ouverte non alimentée).

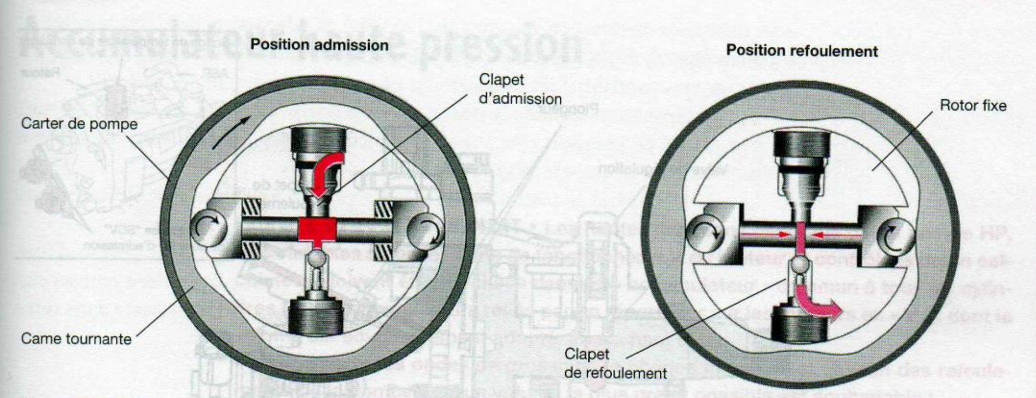


Figure 84.2. Vue du rotor de pompage, et position de la came, dans les phases d'admission et de refoulement *(Doc. Delphi-Diesel)*

2 La pompe haute pression « Denso »

2.1 Généralités

La pompe « Denso » est une pompe de type « tandem » (deux systèmes de plongeurs) à pistons radiaux **(fig. 84.3)**, à came tournante à un peu plus que la 1/2 vitesse du vilebrequin (comme Delphi-Diesel), et pompe d'alimentation basse pression incorporée, régulée à une valeur fixe par une *soupape* réglable.

Deux soupapes de contrôle du débit d'admission des plongeurs, pilotées par le calculateur, permettent un ajustement permanent et précis du débit envoyé dans le circuit haute pression, en fonction de l'indication du capteur de pression de rail, et des états de fonctionnement du moteur (200 à 1 350 bar, 1 bar = 100 kPa).

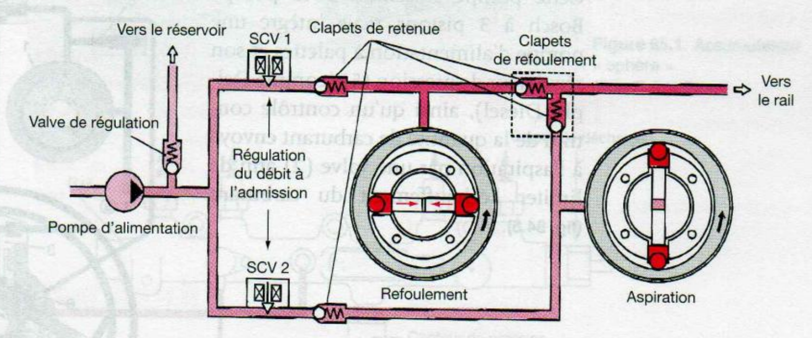


Figure 84.3. Circuit de carburant interne dans la pompe haute pression « Denso » tandem *(Doc. Toyota)*

2.2 Fonctionnement

La came tournante est de forme interne « ovale » **(fig. 84.3)**, et la partie pompage haute pression contient deux systèmes de plongeurs décalés de 90°, l'un étant en phase d'admission, l'autre en phase de refoulement **(fig. 84.3)**. La sortie de refoulement comporte deux *clapets* à billes (un pour chacun des circuits) **(fig. 84.3)**. Chaque *soupape d'admission* (SCV = Suction Control Valve), pilotée par le calculateur, dose la quantité de carburant admis entre les plongeurs pendant la phase d'admission, et permet d'adapter en permanence le *débit* haute pression refoulé vers le rail accumulateur **(fig. 84.4)**.

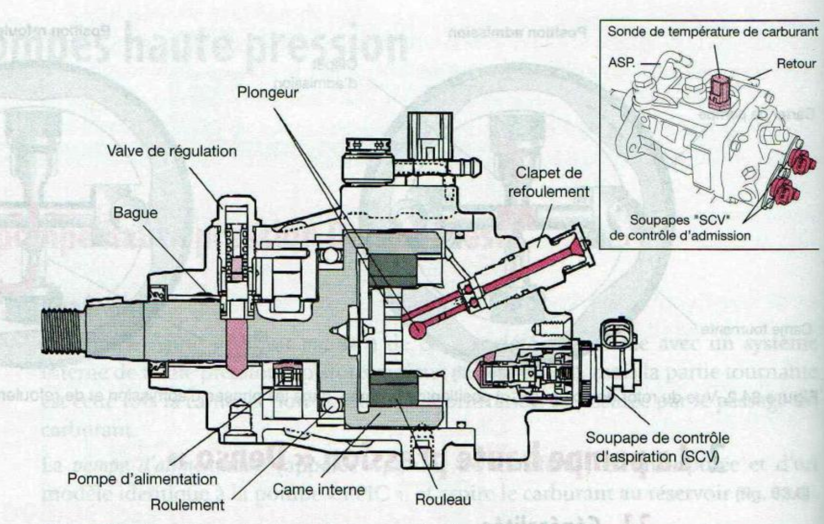


Figure 84.4. Vue interne et externe de la pompe tandem haute pression « Denso » *(Doc. Toyota)*

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les pompes Delphi-Diesel,« Denso » et Siemens sont des pompes permettant une limitation du débit de retour (minimum d'échauffement du carburant).
- La dépose/repose d'une pompe haute pression demande le respect des consignes de propreté **(fiche 88)**, le remplacement de la courroie d'entraînement, et un calage est à effectuer.

3 La pompe haute pression « Siemens »

Cette pompe ressemble à la pompe Bosch à 3 pistons mais intègre une pompe d'alimentation à palettes et son régulateur de pression (5) (comme Delphi Diesel), ainsi qu'un contrôle continu de la quantité de carburant envoyé à l'aspiration par une valve (2) afin de limiter l'échauffement du carburant **(fig. 84.5)**.

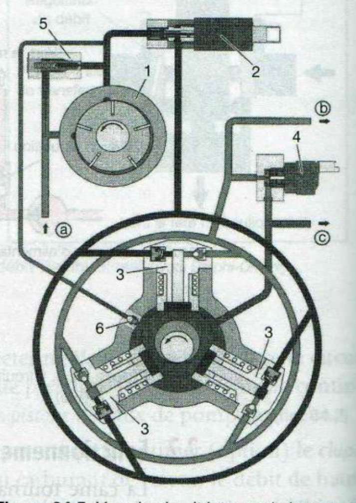


Figure 84.5. Vue du circuit interne de la pompe haute pression Siemens *(Doc. Siemens)*.

Accumulateur haute pression

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Les hautes pressions générées par la pompe HP, très variables selon les états de fonctionnement du moteur et contrôlées par le calculateur, doivent être stockées dans un « accumulateur » commun à tous les cylindres (deux accumulateurs reliés par un répartiteur sur les moteurs en « V »), dont le volume est soigneusement adapté, en sachant que :

- pour amortir les ondes de pressions (à chaque injection, et chacun des refoulements de la pompe HP), un volume le plus grand possible est souhaitable ;

- pour obtenir une *pression minimale* de 200 bar (1 bar = 100 kPa), en 1,5 tour moteur pour chaque démarrage, un volume le plus petit possible est nécessaire !

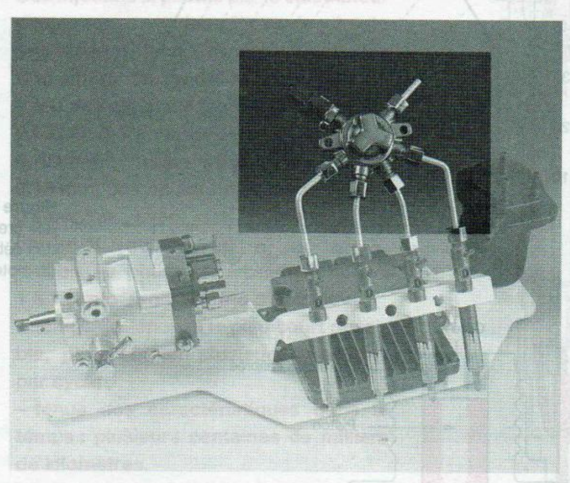


Figure 85.1. Accumulateur « sphère » *(Doc. Delphi-Diesel)*

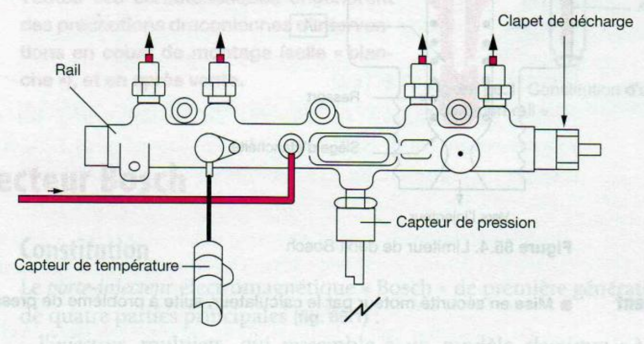


Figure 85.2. Accumulateur « rail » de Bosch

L'accumulateur (rail ou sphère comme pour la **figure 85.1**), est construit en acier de forte épaisseur, placé sur le haut du moteur, proche des *porte-injecteurs*, et comprend selon la technologie du circuit :

- *un capteur de pression* (mesure de la pression avec rapidité et précision, **fig. 85.2**) ;
- *une soupape de décharge* (limitation de la pression maximale) (Bosch première génération) ;
- *un régulateur de pression* **(fig. 82.4)**, placé sur le rail, ou selon le cas sur la pompe HP ;

– *un capteur de température du carburant* (sécurité, et adaptation du débit injecté) ;
– *des limiteurs de débits* (Bosch première génération), assurent une sécurité en cas de blocage en ouverture d'un injecteur **(fig. 85.4)**, et fonctionnent comme suit :
  • débits d'injecteur normal : le piston est en position de repos, en butée côté rail, une baisse de pression côté injecteur (injection) déplace le piston du volume prélevé, sans obturer le siège d'étanchéité **(fig. 85.4)**.
  Le ressort ramène le piston en position repos en fin d'injection, le carburant s'écoule par l'étranglement (A) **(fig. 85.4)** ;
  • débit de fuite anormal : le volume important prélevé déplace le piston d'une course plus importante que le débit de pleine charge, le piston vient reposer sur le siège d'étanchéité, le débit vers l'injecteur est obturé, le piston reste dans cette position jusqu'à l'arrêt du moteur.

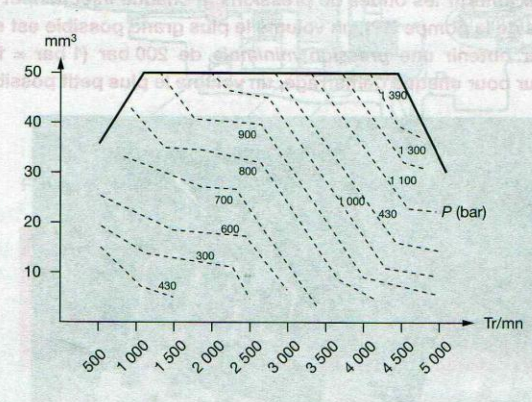


Figure 85.3. Cartographie des pressions de rail en fonction des débits (mm³) et régimes du moteur *(Doc. PSA)*

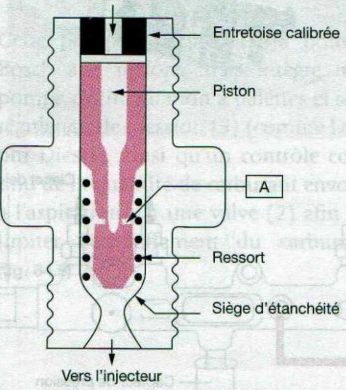


Figure 85.4. Limiteur de débit Bosch

Dysfonctionnement

■ **Mise en sécurité moteur par le calculateur, suite à problème de pressions de rail incorrectes.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

• Le desserrage d'une des canalisations haute pression sur le rail (*injecteur* ou pompe HP) impose son échange par une canalisation neuve.
• Ne jamais intervenir sur un circuit haute pression avant un temps d'une minute après l'arrêt du moteur.

Injecteurs électromagnétiques

1 Description

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • **Les injecteurs électromagnétiques équipant le « rail commun » remplacent les ensembles *porte-injecteurs* des systèmes traditionnels, et se montent sur la *culasse* avec des fixations par brides. Ces injecteurs, pilotés par le calculateur d'injection, sont des pièces de « haute technicité », avec des caractéristiques très différentes de celles habituelles :**

– jeu de l'aiguille dans la buse : environ 0,002 (2 μ), forme du siège spécifique ;

– diamètre des trous inférieur à 0,15 mm, percés par un procédé d'électroérosion, avec des tolérances de l'ordre du « micron » (μ) ;

– débit en phase de « pré-injection » : 1 à 1,5 mm^3, soit 1/2 tête d'épingle ;

– temps de réponse le plus court possible, pour obtenir plusieurs injections par cycle ;

– tenue des caractéristiques dans le temps : plusieurs centaines de milliers de kilomètres.

Toutes ces caractéristiques engendrent des précautions draconiennes d'interventions en cours de montage (salle « blanche »), et en après vente.

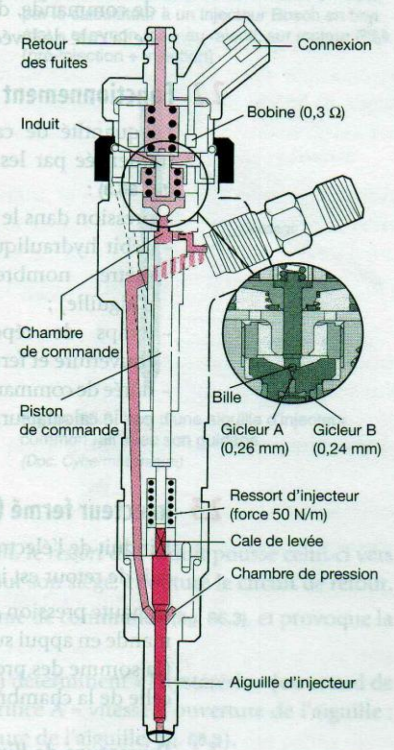


Figure 86.1. Constitution d'un injecteur Bosch « common rail »

2 L'injecteur Bosch

2.1 Constitution

Le *porte-injecteur* électromagnétique « Bosch » de première génération est constitué de quatre parties principales **(fig. 86.1)** :

– l'*injecteur*, multijets, qui ressemble à un modèle classique « à trous obturés » **(fiche 74)**, mais les orifices sont d'un diamètre plus petit (< 0,15 mm), la forme du siège de l'aiguille a dernièrement été optimisée pour obtenir une meilleure uniformité des jets **(fig. 86.2)**, et le guidage de l'aiguille dans la buse **(fig. 86.6)** est renforcé ;

– l'électro-aimant de commande est fixé sur le haut du corps de porte-injecteur, par un gros écrou (le desserrage entraîne la destruction de l'ensemble). Il est piloté par le calculateur, comprend la bobine et l'induit **(fig. 86.1)**, venant appuyer ou non sur la « bille » **(fig. 86.4)** d'étanchéité du système ;

- la partie hydraulique de commande (par pressions différentielles), comprenant des orifices calibrés (A et B, **fig. 86.3**), et une bille d'étanchéité, permettant de faire varier rapidement la *pression* dans la chambre de commande **(fig. 86.3)** ;
- la partie mécanique d'appui de l'aiguille, composée du piston (ou tige) de commande, du *ressort d'injecteur*, et de la cale de levée **(fig. 86.1 et 86.4)**.

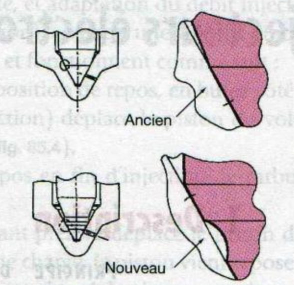


Figure 86.2. Siège de l'aiguille modifié

2.2 Fonctionnement

La quantité de carburant injectée est influencée par les paramètres suivants **(fig. 86.3)** :
- pression dans le rail accumulateur ;
- débit hydraulique de l'*injecteur* (diamètre, nombre de trous, levée d'aiguille) ;
- temps de réponse de l'injecteur (ouverture et fermeture de l'aiguille) ;
- durée de commande de l'électro-aimant par le calculateur.

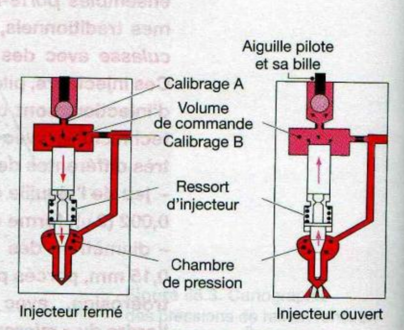


Figure 86.3. Principe de fonctionnement de l'injecteur Bosch « common rail » *(Doc. PSA)*

2.3 Injecteur fermé (temps d'attente)

L'induit de l'électro-aimant (non alimenté) est en appui sur la bille **(fig. 86.3)**, le circuit de retour est isolé.

La haute pression dans la chambre de commande **(fig. 86.3)** pousse le *piston* de commande en appui sur la cale de levée, l'aiguille d'injecteur reste plaquée sur son siège (la somme des pressions piston de commande + *ressort* d'injecteur est supérieure à celle de la chambre de pression de l'injecteur) **(fig. 86.3)**.

2.4 Ouverture de l'injecteur

L'étage de puissance (à *décharge de condensateurs*) du calculateur alimente l'*électro-aimant* (80 V et 20 A au début de l'appel, puis 12 V et environ 10 à 12 A en courant de maintien, **fig. 86.5**), temps de réponse de la première génération Bosch inférieur à 300 µs (microseconde).

L'induit se soulève (course 0,06 mm) et libère la bille de son siège, une fuite de carburant par l'orifice calibré (A) est créée vers le circuit de retour **(fig. 86.3)**.

L'entrée de carburant haute pression à travers l'orifice calibré (B) plus petit que le (A), ne compense pas la fuite, la chute de pression dans la chambre supérieure de commande **(fig. 86.3)** permet à la haute pression de la chambre inférieure de soulever l'aiguille de son siège **(fig. 86.4)**.

L'injection a lieu, et continue tant que dure l'alimentation de l'électro-aimant par le calculateur.

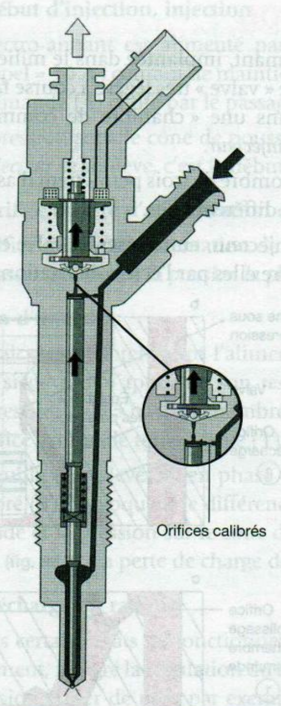


Figure 86.4. Injecteur Bosch en position « ouverture »

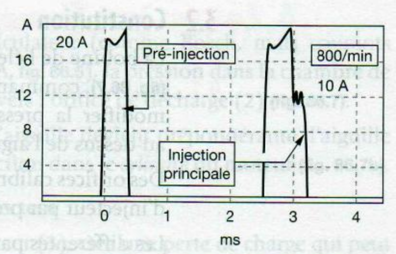


Figure 86.5. Courants de commande envoyés par le calculateur à un injecteur Bosch en bon état « common rail » au ralenti, sur moteur PSA (pré-injection + injection)

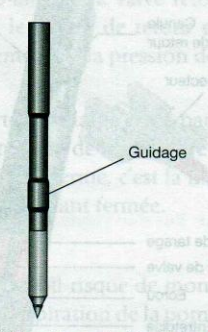


Figure 86.6. Vue d'une aiguille d'injecteur common rail avec son guidage *(Doc. Cybermécanique)*

2.5 Fermeture de l'injecteur

Dès la fin de l'activation de l'*électro-aimant*, le *ressort* de l'induit pousse celui-ci vers le bas **(fig. 86.1 et 86.3)**, la bille est pressée sur son siège, et obture le circuit de retour.

La haute pression augmente dans le volume de commande **(fig. 86.3)**, et provoque la fermeture de l'aiguille d'*injecteur*.

Les diamètres des orifices calibrés (A et B) déterminent « l'hystérésis » (ou retard de réaction) de l'ensemble (diamètre de l'orifice A = vitesse d'ouverture de l'aiguille ; diamètre de l'orifice B = temps de fermeture de l'aiguille, **fig. 86.3**).

Dysfonctionnement

■ Fumées, instabilités, mauvais départs, sont le signe d'un problème au niveau des *injecteurs*.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- L'injecteur est l'élément primordial de ces systèmes, et la moindre impureté qui entre dans le circuit HP est une source de panne potentielle (les trous d'injection sont plus fins qu'un cheveu !).
- Il ne faut jamais ouvrir le circuit haute pression, moteur en fonctionnement (DANGER).
- Le débit de retour donne une bonne indication sur l'état de fonctionnement de l'injecteur.
- Il est recommandé par Bosch de procéder à l'échange de tous les *injecteurs* d'un moteur si l'un d'eux est en panne.

3 L'injecteur haute pression « Delphi-Diesel »

3.1 Généralités

L'*injecteur électromagnétique* de ce constructeur est appelé de « deuxième génération », sa technologie interne différente permet de diminuer le temps de réponse, et la haute pression maxi employée est d'environ 1 600 bar (1 bar = 100 kPa).

3.2 Constitution

La bobine de l'électro-aimant, implantée dans le milieu du corps de *porte-injecteur* **(fig. 86.7)**, commande une « valve » très légère à course faible (0,03 mm), chargée de modifier la pression dans une « chambre de commande » (4) **(fig. 86.7)**, située au-dessus de l'aiguille d'*injecteur*.

Des orifices calibrés au nombre de trois permettent d'assurer le pilotage de l'aiguille d'injecteur par pressions différentielles.

Les différentes parties (injecteur, entretoises de valve et de calibrages, bobine, etc.) sont serrées étanches entre elles par l'écrou de fixation **(fig. 86.7)**.

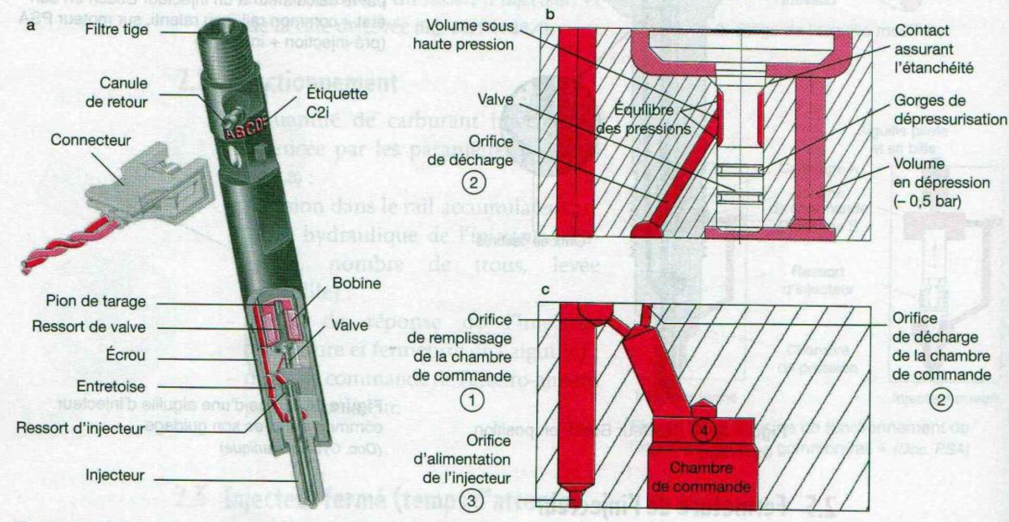


Figure 86.7. Vues d'un porte-injecteur Delphi-Diesel haute pression, avec détails de la valve et des orifices calibrés *(Doc. Delphi-Diesel)*

3.3 Fonctionnement

- **Injecteur fermé**

La valve est fermée (électro-aimant non alimenté), la haute pression de rail est présente dans la chambre de contrôle **(fig. 86.6)** (4), et sur la face d'appui de l'aiguille **(fig. 86.7a)**.

Les forces surface d'appui + *ressort d'injecteur* sont supérieures à la surface d'appui du cône de poussée de l'aiguille, celle-ci est pressée sur son siège, l'injecteur est en position « fermée ».

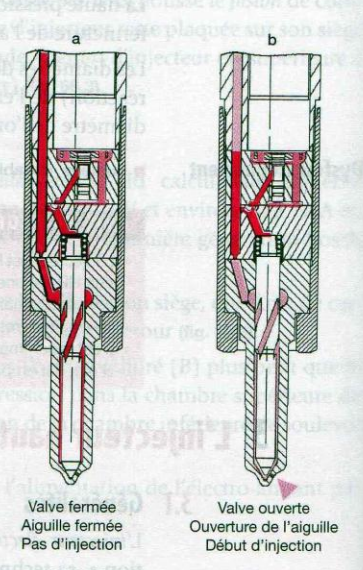


Figure 86.8. Fonctionnement de l'injecteur « Delphi-Diesel » *(Doc. Delphi-Diesel)*

- **Début d'injection, injection**

L'électro-aimant est alimenté par le calculateur (comme Bosch, mais courants d'appel = 10 A ; courant de maintien = 5 A, **fig. 86.5**), la pression dans la chambre de commande (4) chute par le passage à travers l'orifice de décharge (2) **(fig. 86.7)**.

La pression sous le cône de poussée de l'aiguille devient prépondérante, l'aiguille d'*injecteur* se soulève, c'est le début d'injection dans le *cylindre* du moteur **(fig. 86.7b)**.

- **Orifice calibré d'alimentation de l'injecteur**

L'orifice calibré d'alimentation de l'injecteur (3), crée une perte de charge qui peut dépasser 100 bar, à la *pression la plus haute* (injecteur ouvert).

- **Fin d'injection**

Le calculateur interrompt l'alimentation de l'*électro-aimant*, la valve retombe sur son siège sous l'appui de son *ressort*, et aidée par le circuit de retour en légère dépression (– 0,5 bar), la chambre de commande remonte à la pression de rail par l'orifice calibré de remplissage (1) **(fig. 86.7)**.

L'aiguille étant levée et en phase d'injection, la perte de charge créée par l'orifice calibré (3) provoque une différence accrue entre la *pression* de la chambre de commande et la pression sur le cône de poussée, l'aiguille se ferme, c'est la fin d'injection **(fig. 86.7)**. La perte de charge devient nulle, l'aiguille étant fermée.

- **Décharge du rail**

Dans certains états de fonctionnement, la pression de rail risque de monter brusquement, malgré la régulation du débit au niveau de l'aspiration de la pompe haute pression (lever de pied par exemple), et une réaction plus rapide est possible en pilotant les valves d'*injecteurs* avec un pulse très rapide, inférieur au temps de réponse de l'aiguille.

Ce dispositif permet la décharge rapide de la pression de rail sans ouvrir les injecteurs.

- **Calibration individuelle des débits d'injecteurs**

Les tolérances très serrées en fabrication ne permettent pas de garantir une courbe des débits parfaitement identique sur tous les injecteurs.

La société Delphi-Diesel procède en fin de fabrication par un passage au banc d'essai à un *relevé des débits unitaire*, et chacun des injecteurs est doté d'un « code génétique » (appelé = C2I), marqué sur celui-ci **(fig. 86.7)**. Ce code permet de mettre en mémoire dans le calculateur les corrections destnées à obtenir des débits rigoureusement identiques sur un même moteur lors du montage des *porte-injecteurs*.

Dysfonctionnement

- Fumées, fuites, instabilités dues aux *injecteurs*.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Lors de la dépose des *injecteurs* de la *culasse*, il faut repérer les emplacements pour garder les affectations des codes C2I.
- Le remplacement du calculateur nécessite la remise en mémoire des codes des *injecteurs* existants sur le moteur.
- Ces injecteurs ne sont pas démontables, et sont livrés à l'état neuf.
- Le remplacement d'un injecteur doit s'accompagner de l'échange de la *tuyauterie* HP correspondante.

4 Le système Siemens-VDO

4.1 Généralités

La pompe haute pression est une *pompe à trois pistons* radiaux, comme Bosch, avec une pompe basse pression incorporée **(fig. 86.8)**, et régulation de débit.

La fonction hydraulique de l'*injecteur* est identique à celle de Bosch, mais la technologie de commande électrique est du type « piézoélectrique » **(fig. 86.9)**.

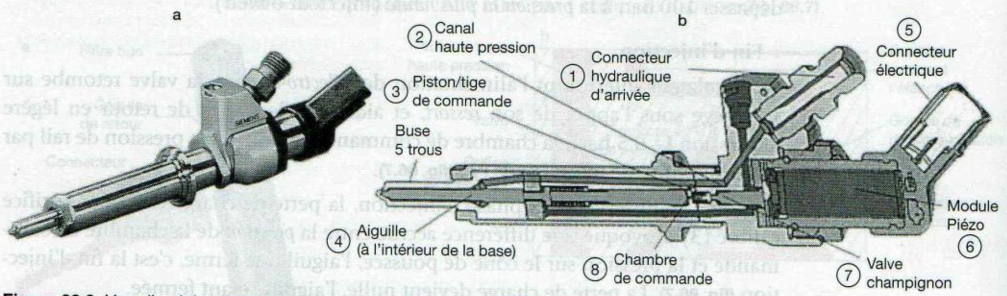


Figure 86.9. Vue d'un injecteur « piézoélectrique » Siemens-VDO *(Doc. Siemens VDO)*

4.2 Fonctionnement

La propriété de la céramique « piézoélectrique » est de se déformer instantanément sous l'action d'une tension de 100 à 200 V ce qui permet de diviser par deux le temps de réponse des injecteurs par rapport aux bobines classiques employées dans les premiers systèmes.

L'empilage de 400 fines couches **(fig. 86.10)** se dilate de ≅ 80 μM, lors de l'activation par le calculateur, le temps de réponse est ainsi ramené à environ 100 μs (microsecondes).

Cette technologie permet d'envisager 4 à 5 injections par cycle, pour assurer la gestion de *filtre à particules*, de catalyse « Denox », etc.

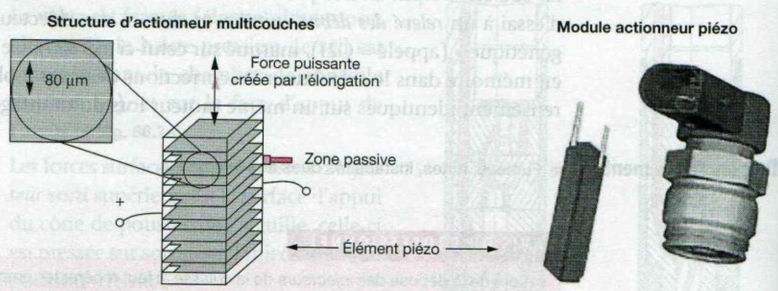


Figure 86.10. Module actionneur « piézoélectrique » de Siemens-VDO *(Doc. Siemens VDO)*

Dysfonctionnement

■ **Ces technologies ne supportent pas la présence d'eau, ou d'impuretés dans le carburant, et provoquent des fumées, grippage, et même casse moteur.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

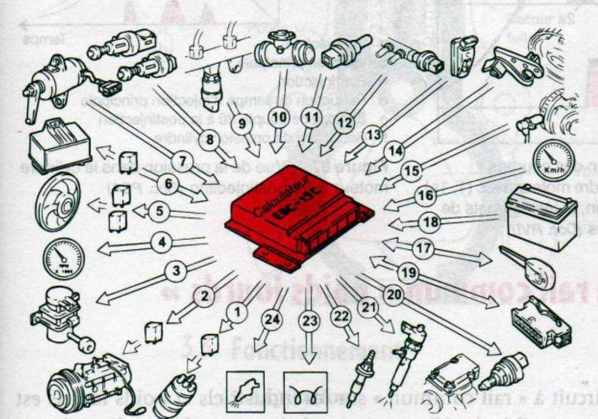
- La technologie « piézoélectrique » permet de passer la norme euro IV, applicable en 2005 en Europe.
- Le diamètre des trous d'injecteur est de plus en plus réduit, ce qui pose problème pour l'usinage car il faut garder une précision de moins d'un micron en série !

Système de gestion électronique des technologies « rail commun »

1 Constitution

Le système à rampe commune, ou rail commun, est géré par un (ou plusieurs) calculateur, qui reçoit des informations en provenance de différents « capteurs », sous forme de grandeurs ou signaux électriques, interprète et calcule les différentes commandes à effectuer aux actionneurs, ou « actuateurs ».

Les organes gérés sont de plus en plus nombreux (*turbo*, boîte de vitesse, *préchauffage*, volets d'admission, EGR, catalyseur, *filtre à particules*, réchauffage de l'eau ou d'admission, etc.) et permettent d'affiner avec précision les débits injectés en une ou plusieurs fois, pour toutes les plages de fonctionnement du moteur **(fig. 87.1)**.



1. Électropompe du combustible
2. Compresseur du climatiseur
3. Modulateur pour soupape
4. Compte-tours
5. Ventilateurs électriques
6. Unité électronique de préchauffage des bougies
7. Potentiomètre de la pédale de l'accélérateur
8. Interrupteurs de la pédale de frein et d'embrayage
9. Capteur de pression du combustible
10. Débitmètre
11. Capteur de température du liquide de refroidissement
12. Capteur de température du combustible
13. Capteur de surpression
14. Capteur de phase
15. Capteur de tours
16. Compteur de vitesse
17. Système CODE Alfa Roméo
18. Batterie
19. Prise pour diagnostic
20. Régulateur de pression
21. Injecteurs électriques
22. Bougies de préchauffage
23. Témoin de préchauffage des bougies
24. Témoin d'anomalies

Figure 87.1. Capteurs et actuateurs dans un système à rail commun Bosch *(Doc. Fiat)*

2 Stratégies d'injection

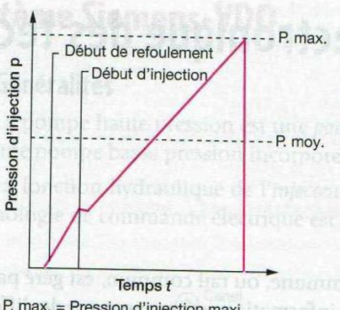
2.1 Généralités

Le système « rail commun » ou « common rail », permet d'obtenir plusieurs injections par cycle, la gestion des débits poste à poste, une maîtrise totale de la variation du point d'injection, et une indépendance totale entre la haute pression disponible **(fig. 87.2)** et le régime du moteur **(fig. 85.3)**.

Ces points, impossibles à tenir avec un système d'injection traditionnel, ont permis des améliorations sans égales sur la pollution, la consommation, le couple, le bruit de combustion **(fig. 87.3)**, et l'agrément de conduite.

2.2 Postinjection

La postinjection permet la gestion des systèmes de dépollution à l'échappement comme le *filtre à particules*, ou le catalyseur « Denox », en augmentant la température et la pression des gaz **(fig. 87.4)**. L'injection principale doit être optimisée (d), pour éviter au conducteur de ressentir un surcroît de couple dû à la postinjection.



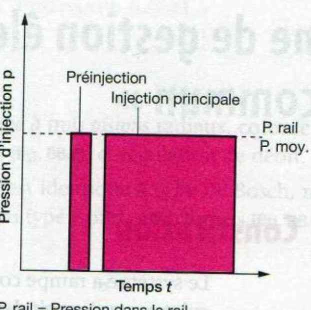




Figure 87.2. Comparaison entre la courbe de *pression* disponible à l'injecteur sur un système traditionnel (à gauche) et un système à rail commun avec préinjection (à droite) *(Doc. BMW)*

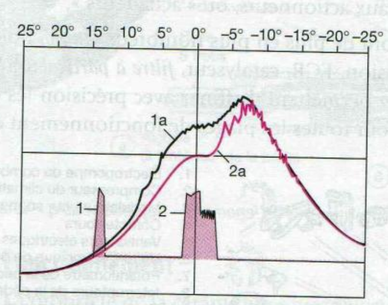
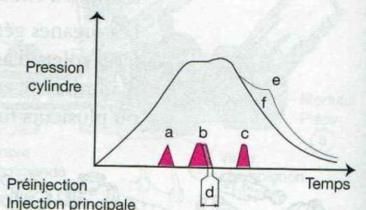


Figure 87.3. Comparaison des courbes de pressions dans le cylindre moteur avec (1, 1a) ou sans (2, 2a) préinjection, et les courants de commandes des injecteurs *(Doc. RVI)*



a Préinjection
b Injection principale
c Postinjection
d Réduction du temps d'injection principale
e Surcroît de couple dû à la postinjection
f Réduction de pression cylindre

Figure 87.4. Vue de la pression dans le cylindre moteur avec postinjection *(Doc. PSA)*

3 Le système Bosch à rail commun « poids lourds »

3.1 Généralités

La constitution du circuit à « rail commun » sur les industriels et poids lourds est différente par rapport aux véhicules VL, au niveau de la pompe hydraulique haute pression **(fig. 87.5 et 87.6)**.

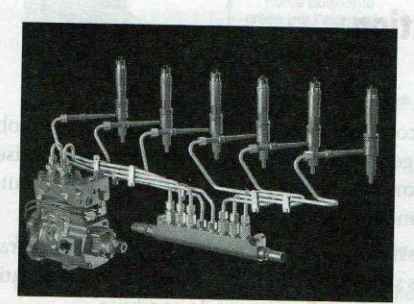


Figure 87.5. Vue externe du circuit haute pression du système Bosch à rail commun pour poids lourds *(Doc. RVI)*

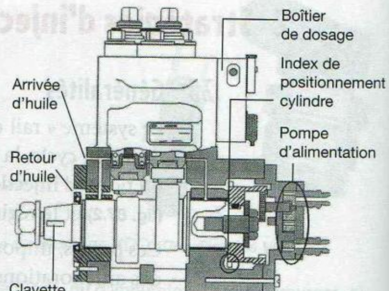


Figure 87.6. Vue en coupe de la pompe hydraulique haute pression PL Bosch *(Doc. RVI)*

3.2 Pompe haute pression CP2

La pompe haute pression est une *pompe « en ligne »* à deux éléments, commandés par un arbre à deux cames de trois lobes chacune **(fig. 87.7)**.

La pompe doit être calée sur le moteur, un repère sur l'entraînement et un index de positionnement cylindre permettent la commande en phase des *électrovannes* du bloc de dosage **(fig. 87.8)**.

La *pompe d'alimentation* à pignons **(fig. 87.6)** est entraînée par l'arbre de la pompe HP, et fournie une pression de 3 à 4 bar (1 bar = 100 kPa), la purge étant assurée par une pompe d'amorçage sur le circuit d'aspiration.

Un *clapet à 3 voies* **(fig. 87.7)** en partie haute assure le remplissage, *piston de pompe* au PMB, et la sortie vers le rail lors du refoulement.

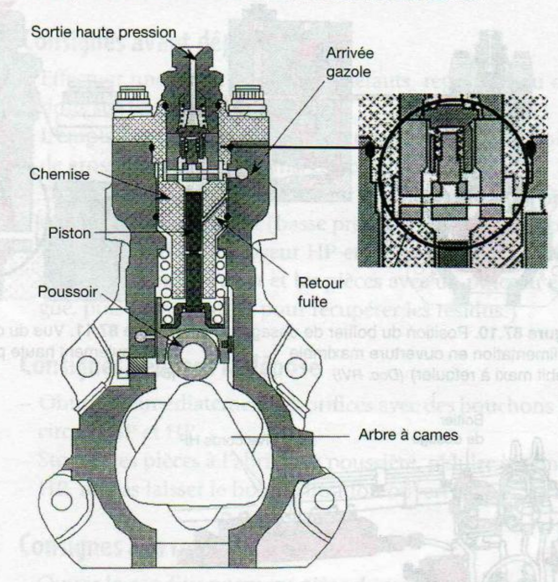


Figure 87.7. Vue en coupe transversale de la pompe hydraulique haute pression Bosch, avec détail du clapet trois voies *(Doc. RVI)*

3.3 Fonctionnement

• **Aspiration**

L'*électrovanne* de dosage du *cylindre* de pompe (étant au PMB, reconnaissance par repère de positionnement transmis au calculateur), **(fig. 87.6)**, est non ou partiellement alimentée, le *piston de dosage* **(fig. 87.9)** est déplacé vers le haut par la *pression d'alimentation* régulée par le clapet de balayage (environ 2 bar) et ouvre le canal vers le *clapet* 3 voies du *cylindre* de la pompe **(fig. 87.7)**, le clapet se soulève et permet le remplissage de la *chemise* **(fig. 87.10)**.

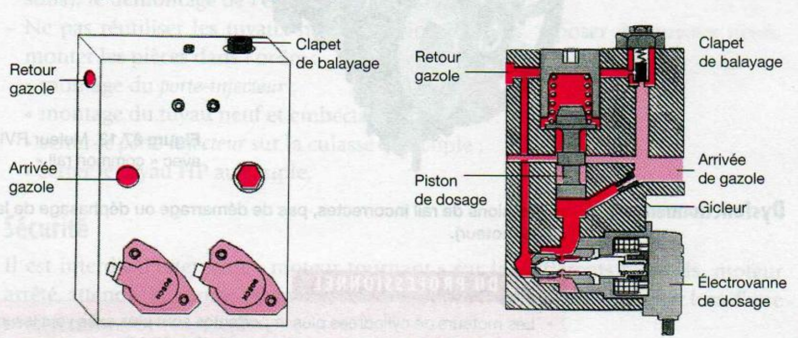


Figure 87.8. Vue simplifiée du « boîtier de dosage » de basse pression *(Doc. RVI)*

Figure 87.9. Vue en coupe du boîtier de dosage, en position fermé (phase de refoulement haute pression de la pompe) *(Doc. RVI)*

• **Refoulement**

Le piston de la pompe HP est poussé par la came à 3 lobes vers le haut. L'*électrovanne* de dosage est alimentée, la *pression* chute sous le piston de dosage **(fig. 87.9)**, qui coupe la communication du canal d'alimentation vers le clapet 3 voies du *cylindre* de pompe.

Le *clapet* 3 voies isole la communication basse pression, et ouvre la sortie haute pression **(fig. 87.11)**, la pression est refoulée vers le rail accumulateur **(fig. 87.12)**.

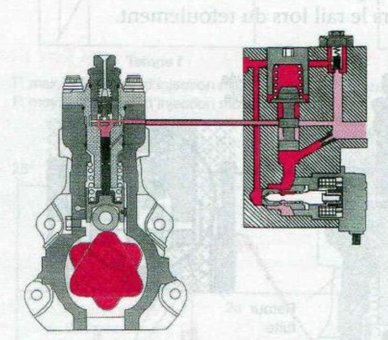


Figure 87.10. Position du boîtier de dosage d'alimentation en ouverture maximale (débit maxi à refouler) *(Doc. RVI)*

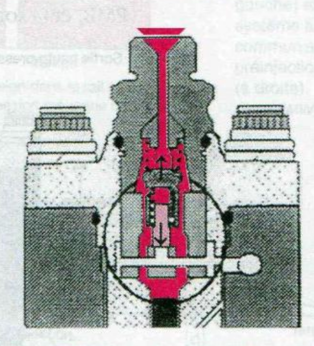


Figure 87.11. Vue du clapet 3 voies en position de refoulement haute pression vers le rail *(Doc. RVI)*

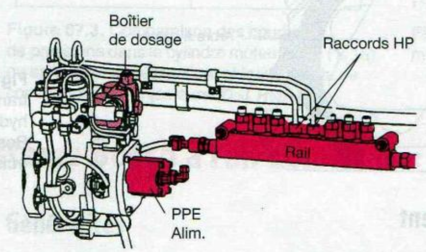


Figure 87.12. Branchement des canalisations HP sur le rail *(Doc. Bosch)*



Figure 87.13. Moteur RVI DCI 11 avec « common rail »

Dysfonctionnement

■ **Pressions de rail incorrectes, pas de démarrage ou déphasage de la pompe (mauvais calage sur le moteur).**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les moteurs de cylindrées plus importantes sont plus axés vers les *injecteurs-pompes*, mais le marché reste à venir pour le rail commun **(fig. 87.13)**.
- Il ne faut jamais purger au démarreur ce circuit, mais ouvrir la vis de purge sur le circuit et pomper à l'aide de la pompe d'amorçage.

88

Consignes à respecter sur les équipements à rail commun

1 Consignes

1.1 Consignes avant dépose

- Effectuer une lecture des codes défauts, repousser au dernier stade les interventions sur les circuits BP/HP.
- L'emplacement de travail et la tenue vestimentaire doivent être propres (séparé de grosse mécanique, freins, carrosserie, etc.).
- Toute intervention sur un moteur sale nécessite au préalable un nettoyage, en cas d'ouverture d'un circuit (basse pression après le *filtre*, ou haute pression).
- L'utilisation d'un nettoyeur HP et d'une soufflette est interdite. (Il faut nettoyer chaque raccord à ouvrir et les pièces avec un pinceau et un dégraissant homologué, puis un aspirateur pour récupérer les résidus.)

1.2 Consignes pendant la dépose

- Obturer immédiatement les orifices avec des bouchons adaptés, sur les pièces des circuits BP et HP.
- Stocker les pièces à l'abri de la poussière, réduire le temps « ouvert » sur le circuit HP, ne pas laisser le bol de filtration ouvert durant les interventions.

1.3 Consignes à la repose

- Ouvrir le conditionnement pièce de rechange juste avant la repose.
- Déposer les *bouchons* et obturateurs au fur et à mesure du remontage, éviter toute présence de particules ou poussières lors de la repose des tuyaux HP.
- Respecter les couples de serrage préconisés.

1.4 Consignes concernant l'injecteur

- Aucun outil ne doit être appliqué sur l'écrou supérieur, utiliser un extracteur adapté, à inertie si besoin.
- Tout nettoyage ou brossage de l'injecteur est exclu (même le nettoyage aux ultrasons), le démontage de l'écrou d'injecteur est interdit.
- Ne pas réutiliser les tuyaux haute pression déposés, reposer des tuyaux neufs, monter les pièces dans l'ordre :
  - montage du *porte-injecteur* ;
  - montage du tuyau neuf et embectage olive ;
  - serrer le *porte-injecteur* sur la culasse au couple ;
  - serrer le tuyau HP au couple.

1.5 Sécurité

Il est interdit d'intervenir « moteur tournant » sur les différents raccords, moteur arrêté, attendre au moins 30 s avant l'intervention. Il est interdit de fumer lors d'une intervention sur ces circuits.

2 Démarrage du moteur après une intervention

- Effectuer le démarrage « capot moteur demi-fermé », et ouvrir ensuite celui-ci avec précaution en vérifiant qu'aucune fuite haute pression n'est visible (attention aux yeux !).
- Effectuer un essai sur route ou banc, pour s'assurer qu'aucune fuite ne subsiste (la haute pression n'est souvent maxi qu'à pleine charge).
- Reprendre les codes défauts, effacer ceux en mémoire avant la livraison du véhicule au client (s'assurer qu'aucun code défaut ne subsiste).

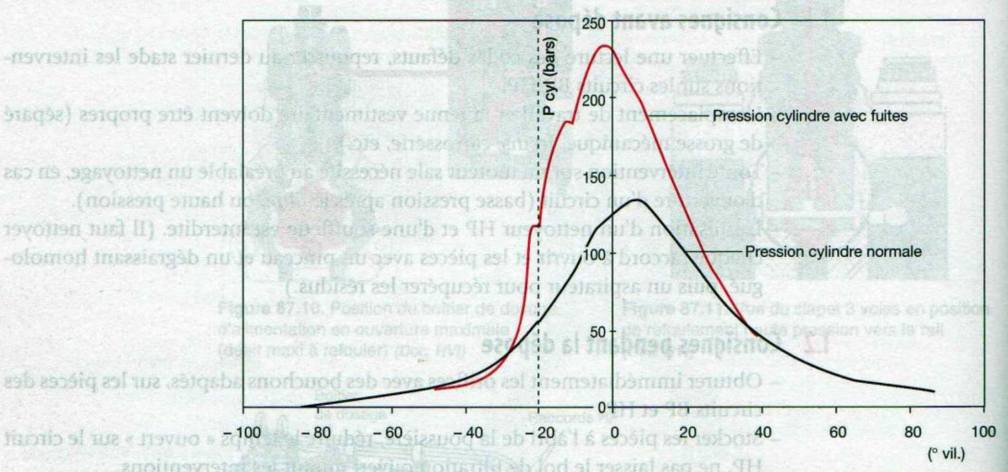
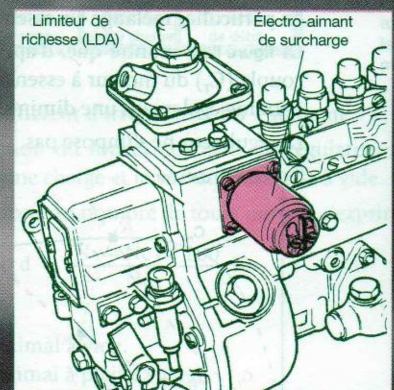


Figure 88.1. Pression dans le cylindre moteur, suite à une fuite sur un injecteur, entraînant la destruction du moteur *(Doc. PSA)*

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La non étanchéité d'un *injecteur*, suite à un grippage ou une entrée d'impuretés dans le circuit haute pression peut entraîner une *combustion* prématurée, la *pression* dans le cylindre peut alors dépasser la limite de résistance du moteur **(fig. 88.1)**.

Dispositifs complémentaires





Dispositifs de régulation

1 Nécessité de la régulation

D'après l'allure générale de la courbe caractéristique de couple (C_m) du moteur diesel, on observe qu'une diminution du couple résistant (C_r vers $C_{r'}$) peut entraîner une augmentation de *vitesse* sensible **(fig. 89.1)**.

En effet, ce graphique indique qu'un équilibre s'établit en A, point de rencontre du couple moteur (C_m) et du couple résistant (C_r).

Cependant, si le couple résistant diminue ($C_{r'}$) (déclivité de la route, vent, verglas, etc.), le point de rencontre se déplace alors vers A' où le régime maximal du moteur peut être dépassé, provoquant de graves avaries.

L'intervention du *régulateur* doit permettre de modifier l'allure de la courbe de couple en ramenant le point de rencontre A' vers le point A'' (cette courbe de couple devient OAA'', alors qu'elle était primitivement OAA').

Par ailleurs, l'observation d'un tel phénomène n'existe pratiquement pas dans le moteur à essence par suite du processus différent de l'alimentation des cylindres, en particulier mélange air-essence extérieur au cylindre.

La **figure 89.2** montre que, d'après l'allure générale de la courbe caractéristique de couple (C_r) du moteur à essence, une diminution du couple résistant (C_r vers $C_{r'}$) entraîne également une diminution sensible du régime moteur (courbe OAA').

Le régulateur ne s'impose pas.

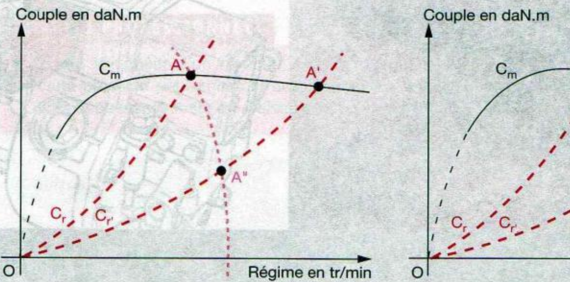


Figure 89.1. Moteur diesel

Figure 89.2. Moteur à essence

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Le rôle principal du *régulateur de vitesse* est de limiter le régime maximal du moteur.
- Un emballement du moteur est souvent dû à une cause extérieure au régulateur (niveau d'huile moteur trop haut ou du *filtre à bain d'huile*, filtre à air imbibé, etc.).

2 Fonctions assurées par le régulateur

Les moteurs diesels fonctionnent généralement avec un excès d'air (sauf en pleine charge).

En cas de modification de la charge appliquée à ces moteurs, il est nécessaire de faire varier également la quantité de combustible injecté, afin que la vitesse de rotation ne varie pas en dehors des limites fixées par le constructeur.

Le régulateur doit adapter le dosage du carburant refoulé par la *pompe d'injection* suivant différents paramètres **(fig. 89.3)** :

- la position du levier de commande (accélérateur) ;
- la constitution du *régulateur* (mini-maxi, toutes vitesses, etc.) ;
- la *vitesse de rotation* du moteur ;
- la valeur du débit maximal de pleine charge ;
- la valeur du débit de démarrage (ou surcharge), en fonction de la température du moteur ;
- la correction du *débit* en fonction de la *vitesse* ;
- la pression de *suralimentation (turbocompresseur)* ;
- la pression atmosphérique ;
- les températures d'air et de combustible.

} éventuellement

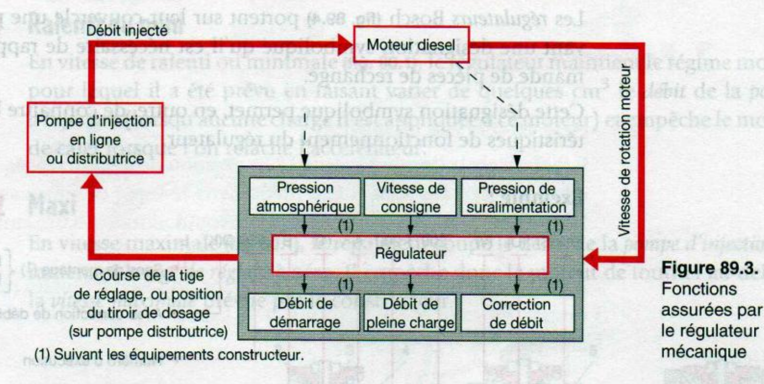


Figure 89.3. Fonctions assurées par le régulateur mécanique

Degré d'irrégularité ou coefficient d'irrégularité ou « statisme » :

C'est un facteur d'appréciation du fonctionnement du régulateur ; il représente l'écart entre la vitesse de pleine charge et la vitesse maximale à vide.

Ce degré d'irrégularité, rapporté au nombre de tours moyen, s'exprime ainsi :

$$d = \frac{(Nv - Nc) \times 100}{Nm} \%$$

avec :

Nv = Nombre de tr/min maximal à vide.

Nc = Nombre de tr/min maximal à pleine charge.

Nm = Nombre de tours moyens = $\frac{Nv + Nc}{2}$.

Exemple :

Soit $\left.\begin{array}{l} Nv = 1\,105 \text{ tr/min} \\ Nc = 1\,050 \text{ tr/min} \end{array}\right\} \rightarrow Nm \simeq 1\,078 \text{ tr/min} \rightarrow d = 5{,}1\ \%$.

Plus le degré d'irrégularité est faible, meilleur est le régulateur.

Cependant, il est acceptable jusqu'à 10 % pour les moteurs diesels routiers mais seulement 1 à 3 % pour les groupes électrogènes.

Dysfonctionnement

■ **À-coups en vitesse stabilisée, calage du moteur, mauvais démarrage dus à des problèmes liés au régulateur mécanique.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les normes antipollution, et l'attente au niveau confort de conduite des automobilistes, ont fait apparaître la régulation électronique, la régulation mécanique ne pouvant apporter les solutions complexes demandées.

3 Principaux types de régulateurs

On distingue les *régulateurs* :

– à commande mécanique par *masselottes* ou *billes* (ou *régulateurs centrifuges*) **(fiches 90 à 93)** à commande pneumatique, par *dépression* (maintenant obsolète) ;

– à commande hydraulique par pompes à engrenages (Woodward, Bosch série « H », etc.) ;

– à assistance électronique (pour groupes électrogènes au départ, puis développement rapide sur les véhicules routiers) **(fiche 94)** ;

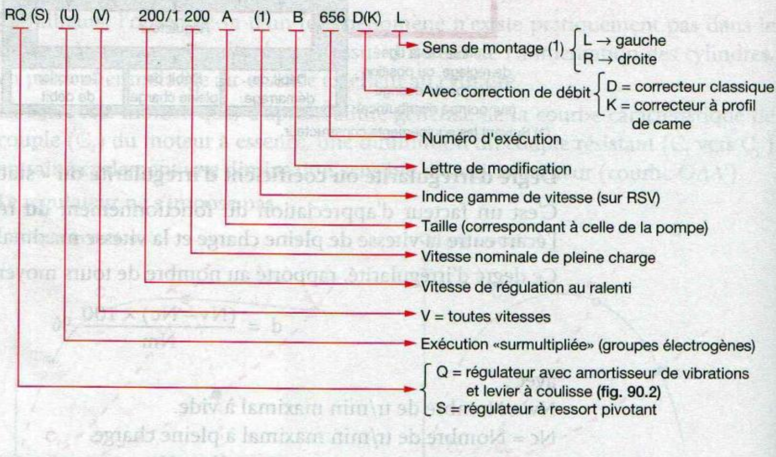
– électroniques, sur les nouvelles technologies actuelles hautes pressions.

Symbolisation des régulateurs Bosch (mécaniques)

Les *régulateurs* Bosch **(fig. 89.4)** portent sur leur couvercle une plaquette gravée suivant une désignation symbolique qu'il est nécessaire de rappeler en cas de commande de pièces de rechange.

Cette désignation symbolique permet, en outre, de connaître les principales caractéristiques de fonctionnement du régulateur.

Exemple :



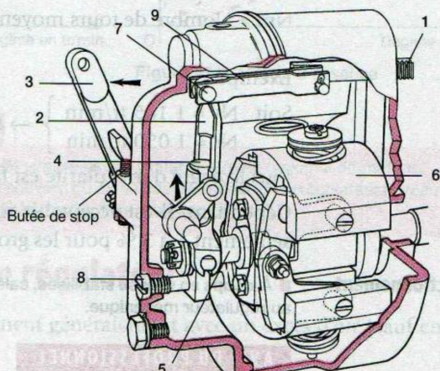


Figure 89.4. Régulateur Bosch mini-maxi, type RQ

Régulateurs centrifuges mini-maxi

1 Régulateur Bosch type RQ

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Les régulateurs Bosch type RQ ont pour fonction de limiter la *vitesse maximale* du moteur et de stabiliser le régime de *ralenti* avec une plage « non régulée » entre ces deux vitesses.

1.1 Ralenti ou mini

En vitesse de ralenti ou minimale (fig. 90.1), le régulateur maintient le régime moteur pour lequel il a été prévu en faisant varier de quelques cm^3 le *débit* de la *pompe d'injection* (lorsqu'aucune charge n'est appliquée à ce moteur) et empêche le moteur de caler lorsque l'on relâche l'accélérateur.

1.2 Maxi

En vitesse maximale (fig. 90.1), le régulateur coupe le débit de la *pompe d'injection* en ramenant la *tige de réglage* à zéro. Il empêche donc le moteur de tourner au-delà de la *vitesse maximale* prévue par le constructeur.

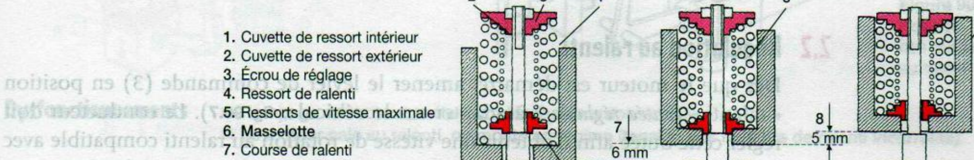




Figure 90.1. Les différentes positions des masselottes

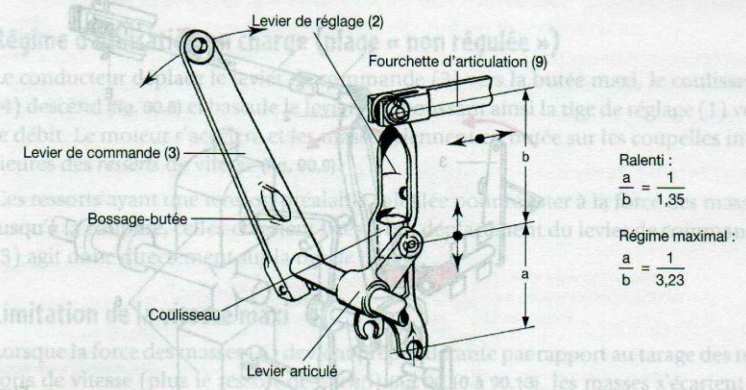


Figure 90.2. Principe du levier articulé à coulisse

1.3 Entre ces deux vitesses

C'est la plage « non régulée » : la commande de la pédale d'accélérateur agit directement sur le débit de la pompe en actionnant la tige de réglage, mais sans toutefois pouvoir dépasser le réglage maxi du débit (vis butée du levier de commande réglée au banc d'essai) **(fig. 90.2 et 90.3)**.

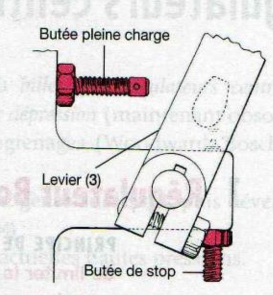


Figure 90.3. Butée de pleine charge sur régulateur RQ

2 Fonctionnement

2.1 Mise en marche du moteur

Il faut placer la tige de réglage (1) en position de démarrage **(fig. 90.4)**. Les masses (6) étant au repos **(fig. 90.5)**, il faut manœuvrer le levier de commande extérieur (3) vers la position maxi. Le coulisseau (4) descend alors en basculant le levier (2) vers le débit maxi.

Le ressort de la butée élastique (E), étant plus faible que les *ressorts* placés dans les masses, s'écrase et permet ainsi à la *tige de réglage* d'aller en position « débit de démarrage ».

2.2 Régulation au ralenti

Dès que le moteur est démarré, amener le levier de commande (3) en position « ralenti » (*butée réglable* 7 à adapter sur le véhicule, **fig. 90.7**). Le conducteur doit régler cette butée afin d'obtenir une vitesse de rotation au ralenti compatible avec le *régulateur* **(fig. 90.7)**. Celui-ci agit alors pour maintenir le moteur à la vitesse correspondante.

La course des masses (6) au ralenti est de 6 mm (A) qui correspond à 8 mm environ de déplacement de la *tige de réglage* (rapport 1/1,35) **(fig. 90.2 et 90.6)**.

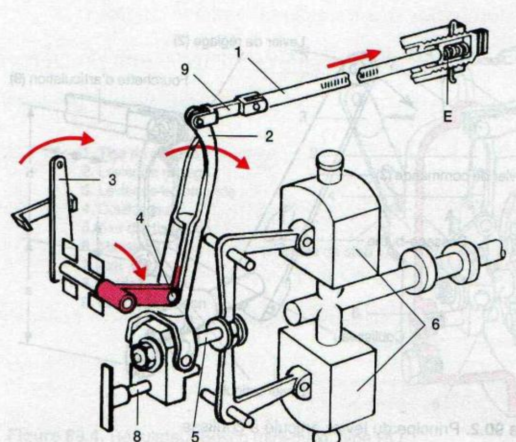


Figure 90.4. Mise en marche du moteur

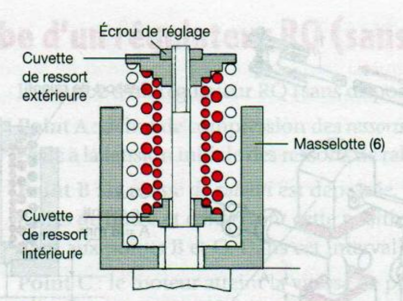


Figure 90.5. Masses en position de repos

Figure 90.6. Rapport des bras de levier : 1/1,35

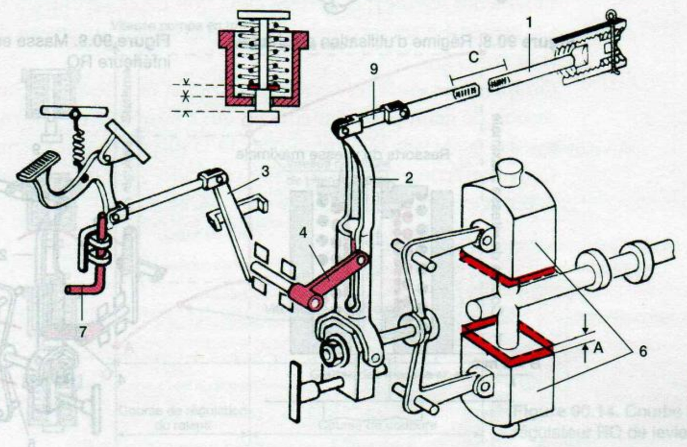


Figure 90.7. Position des masses au ralenti

Dysfonctionnements

- Pompage du moteur, suite à un déséquilibre des masses.
- Le moteur cale au ralenti, ou monte en régime (tension des ressorts de ralenti incorrecte).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La régulation au *ralenti* ne peut se produire que si, à la vitesse choisie, les masses (6) en appui sur les ressorts de ralenti se trouvent environ à « mi-course » (A = $\frac{6}{2}$, soit environ 3 mm), afin d'avoir la possibilité de réagir dans un sens ou dans l'autre.

2.3 Régime d'utilisation en charge (plage « non régulée »)

Le conducteur déplace le levier de commande (3) vers la butée maxi, le coulisseau (4) descend **(fig. 90.8)** et bascule le levier (2), poussant ainsi la tige de réglage (1) vers le débit. Le moteur s'accélère et les masses viennent en butée sur les coupelles inférieures des *ressorts* de vitesse **(fig. 90.9)**.

Ces ressorts ayant une tension préalable calculée pour résister à la force des masses jusqu'à la coupure, celles-ci restent fixes. Tout déplacement du levier de commande (3) agit donc directement sur la *tige de réglage*.

2.4 Limitation de la vitesse maxi

Lorsque la force des masses (6) devient prépondérante par rapport au tarage des ressorts de vitesse (plus le ressort de *ralenti*) **(fig. 90.10 à 90.13)**, les masses s'écartent et parcourent la course de régulation maxi « B » = 5 mm. La pièce d'articulation (5) est tirée vers l'avant, emmenant le bras de levier (2) qui pivote sur l'axe du coulisseau (4). La tige de réglage (1) est alors tirée vers l'arrière, soit vers le débit nul.

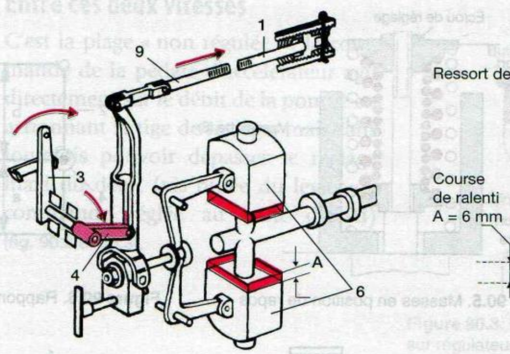


Figure 90.8. Régime d'utilisation en charge

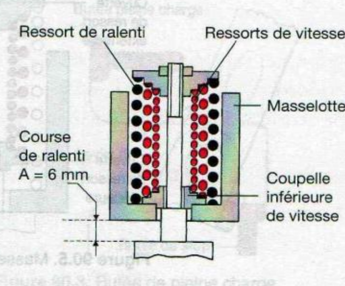


Figure 90.9. Masse en butée sur la coupelle inférieure RQ

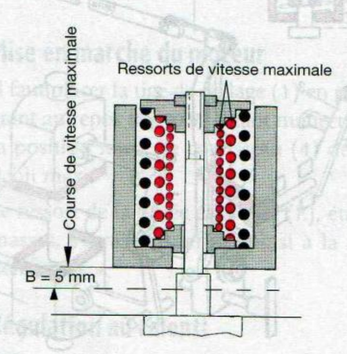


Figure 90.10. Masse avec course de régulation maxi

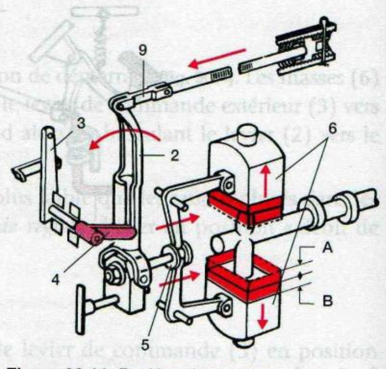


Figure 90.11. Position des masses. Limitation de la vitesse maxi

Le rapport des leviers en accélération maxi est d'environ 1/3,23 (fig. 90.12), permettant ainsi une grande rapidité de coupure (statisme faible).

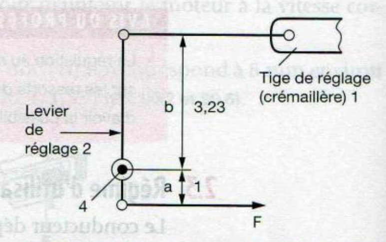


Figure 90.12. Rapport des bras de levier : 1/3,23

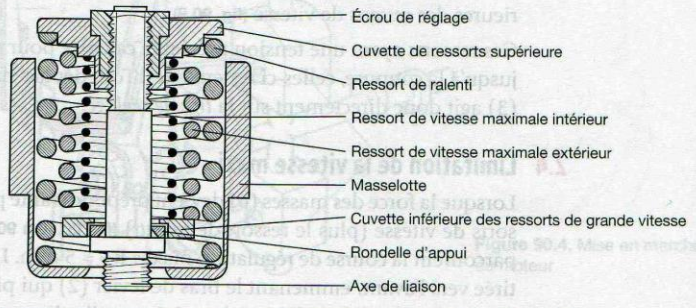


Figure 90.13. Détail du montage des ressorts dans une masse de régularité RQ

3 Courbe d'un régulateur RQ (sans dispositif de correction)

La courbe d'un régulateur RQ (sans dispositif de correction) est présentée **figure 90.14**.

Point A : début de compression des *ressorts* de ralenti : la *force centrifuge* des masses est égale à la tension initiale des ressorts de ralenti (AB = course de régulation du ralenti).

Point B : la *vitesse de ralenti* est dépassée, les masses viennent porter contre les rondelles de butée et conservent cette position dans l'intervalle des vitesses correspondant aux points B et C. Dans cet intervalle, le régulateur n'agit pas.

Point C : le moteur atteint la vitesse de pleine charge. Si cette vitesse est dépassée, la *force centrifuge* des masses prend alors une valeur supérieure à celle de la tension initiale des *ressorts* internes qui sont comprimés à leur tour (CD = course de coupure).

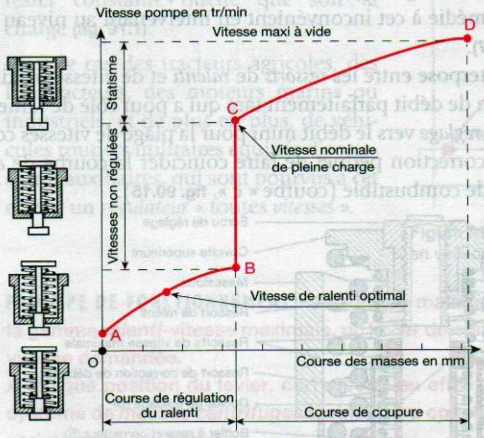


Figure 90.14. Courbe d'un régulateur RQ de levier : 1/3,23

4 Correction de débit

4.1 Fonction

- La quantité de combustible que peut brûler un moteur non suralimenté sans fumer décroît légèrement à mesure que la vitesse augmente (meilleur remplissage d'air aux faibles vitesses de rotation).
  Nous savons cependant que pour obtenir une combustion correcte, la quantité d'air admis est nettement supérieure à celle prévue théoriquement.
- Le rapport du poids gazole/air peut varier de 1/20 à 1/30 environ et favorise la mise en présence du combustible injecté avec l'air comburant, afin d'éviter, dans les gaz d'échappement, la formation de corps imbrûlés malgré le phénomène de turbulence propre à chaque type de moteur.
- En conclusion, la courbe de remplissage fléchit avec la vitesse et, pour respecter les conditions posées, il faut diminuer la quantité de combustible introduit en fonction de la *vitesse* **(fig. 90.15)**.

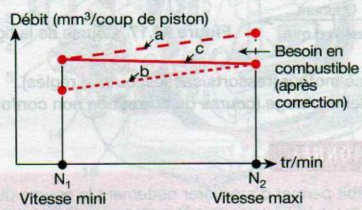


Figure 90.15. Courbe de refoulement

4.2 Fonctionnement

– On remarquera que si le réglage de *débit maximal* de la pompe était effectué de façon à obtenir le couple moteur le meilleur aux basses vitesses (N_1), le moteur recevrait aux régimes élevés (N_2) plus de combustible qu'il n'en pourrait brûler. Il fumerait et on noterait alors la formation d'un dépôt de calamine, une consommation élevée, un phénomène de dilution et une mauvaise combustion (pollution) (droite « a », **fig. 90.15**).

– Par contre, si le débit maximal de la pompe était réglé de façon à obtenir le meilleur couple moteur aux vitesses élevées (N_2), le moteur ne pourrait plus développer, aux bas régimes (N_1), la puissance escomptée, car le débit de la pompe diminue en même temps que la vitesse (pour une même position de la tige de réglage (plus de fuites à bas régime)) et devient alors trop faible (droite « b », **fig. 90.15**).

– On remédie à cet inconvénient en intervenant au niveau du régulateur **(fig. 90.16 et 90.17)**.

On interpose entre les *ressorts* de *ralenti* et de vitesse maximale un ressort de correction de débit parfaitement taré qui a pour rôle de ramener progressivement la *tige de réglage* vers le débit mini pour la plage de vitesses comprise entre N_1 et N_2. Cette correction permet de faire coïncider la courbe de *débit d'air* avec celle de débit de combustible (courbe « c », **fig. 90.15**).

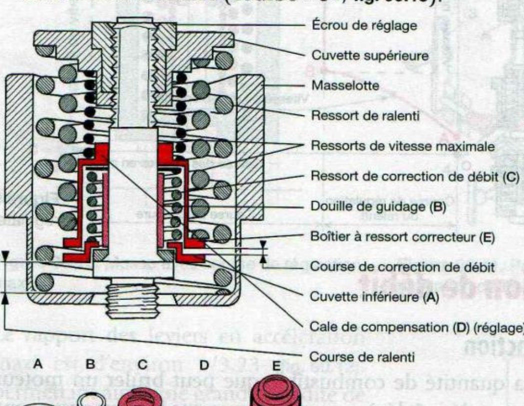


Figure 90.16. Correcteur de débit avec détail des constituants.

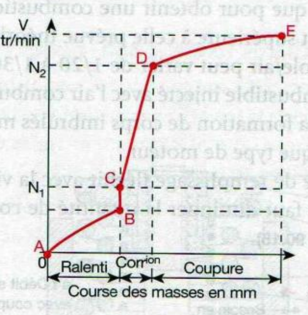


Figure 90.17. Course de la tige de réglage

Dysfonctionnements

- Manque de puissance moteur (ressorts cassés, ou mal réglés).
- Fumées noires en pleine charge (course de correction non conforme).

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La correction de débit permet d'améliorer nettement le couple du moteur à bas régime, mais le réglage doit être précis, sans risque de fumées noires importantes.

Régulateurs centrifuges « toutes vitesses »

1 Généralités

Certains moteurs doivent tourner à des *vitesses* très différentes ; cependant, la vitesse momentanément choisie doit rester constante quelle que soit la charge **(fig. 91.1)**.

C'est le cas des tracteurs agricoles, des locotracteurs, des moteurs marins ou industriels, et de plus en plus, de véhicules routiers utilitaires équipés d'accessoires auxiliaires, qui sont pourvus à cet effet d'un *régulateur* « toutes *vitesses* ».

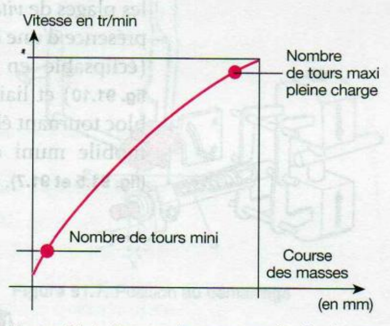


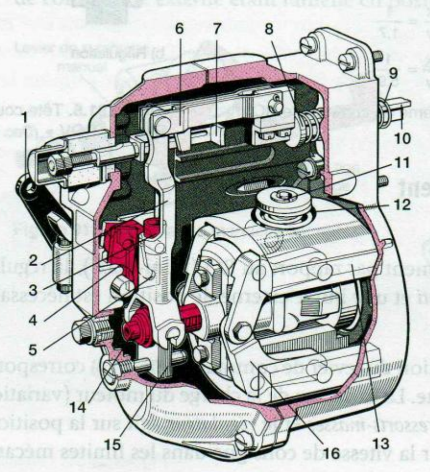
Figure 91.1. Course des masses de régulateur en version « toutes vitesses »

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Assurer le maintien d'un régime désiré situé dans la gamme *ralenti*-vitesse maximale, un levier de commande permettant de choisir la vitesse demandée.
À chaque position du levier, correspond en effet un régime bien déterminé qu'un système de *masses centrifuges* maintiendra constant et cela quelles que soient les variations de la charge.

2 Régulateur Bosch type RQV

2.1 Description

Le *régulateur* toutes *vitesses* RQV est un dérivé du modèle RQ mini-maxi **(fig. 91.2)**.



1. Levier de commande
2. Levier de réglage
3. Coulisseau
4. Levier articulé
5. Came-plaque
6. Fourchette d'articulation
7. Butée de pleine charge
8. Cuvette de ressort
9. Ressort de rattrapage de jeu
10. Tige de réglage de la pompe d'injection
11. Écrou de réglage
12. Ressort de régulation
13. Masselottes
14. Axe mobile élastique
15. Tête coulissante
16. Levier coudé

Figure 91.2. Régulateur Bosch, type RQV

La fonction « toutes vitesses » est obtenue par quelques modifications comme :

- montage des *ressorts* de vitesses sans tension initiale, contrairement au régulateur mini-maxi, dans l'ensemble tournant **(fig. 91.3)** permettant une réaction des *masselottes* pour chaque variation de régime entre le *ralenti* et la vitesse maximale ;
- système de commande modifié comprenant une plaque à coulisse **(fig. 91.4)** avec un profil adapté, positionnant le levier articulé pour chaque déplacement de l'axe de commande **(fig. 91.5)** ;
- le levier de réglage plus long permet d'obtenir un meilleur statisme dans les plages de *vitesses* élevées **(fig. 91.4)** ;
- présence d'une *butée de débit* maximal (éclipsable en position démarrage, **fig. 91.10**) et liaison levier de réglage-bloc tournant élastique grâce à un axe mobile muni d'un *ressort* auxiliaire **(fig. 91.5 et 91.7)**.

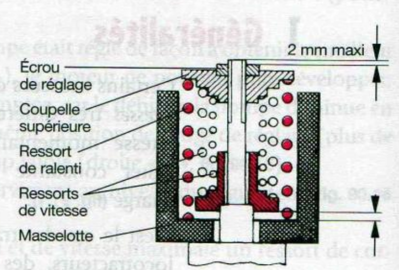


Figure 91.3. Ensemble tournant

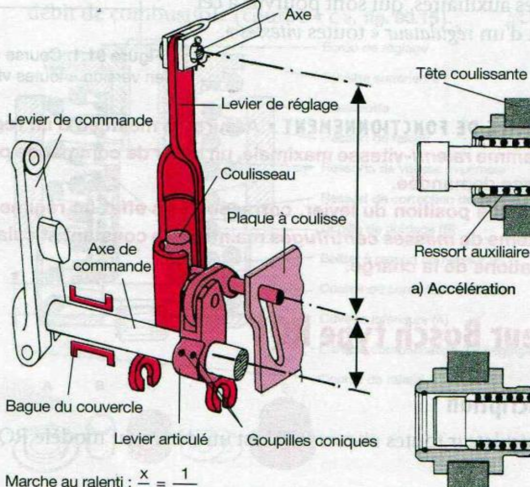


Figure 91.4. Système de commande RQV

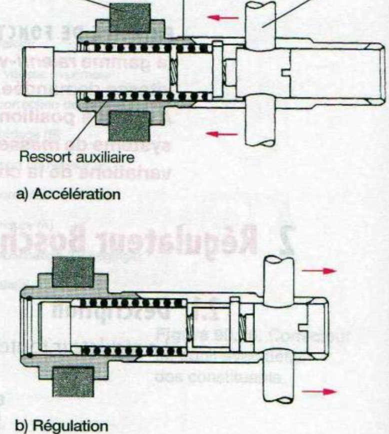


Figure 91.5. Tête coulissante sur régulateur Bosch « RQV » *(Doc. Bosch)*

2.2 Fonctionnement

• **Ralenti**

Aucun changement par rapport au RQ (mini-maxi), la régulation s'effectue sur les *ressorts de ralenti* et une butée externe de position est nécessaire **(fig. 91.6 et 91.7)**.

En utilisation

À chaque position du levier de commande **(fig. 91.4)** correspond une vitesse de régulation différente. La variation de la charge du moteur (variation de la vitesse) modifie l'équilibre *ressorts-masses* et le *régulateur* agit sur la position de la tige de réglage pour maintenir la vitesse de consigne dans les limites mécaniques (butée de débit maximal ou stop) **(fig. 91.7)**.

Dans les cas où le déplacement des *masselottes* ou le rapport des leviers correspondent à une course plus importante que celle permise par la butée de *débit maximal* (1), le ressort auxiliaire (2) de l'axe mobile (3) s'écrase ou se tend (distance x) et sa force s'ajoute ou se retranche à celle des *masselottes* pour assurer la régulation (**fig. 91.5 et 91.7**).

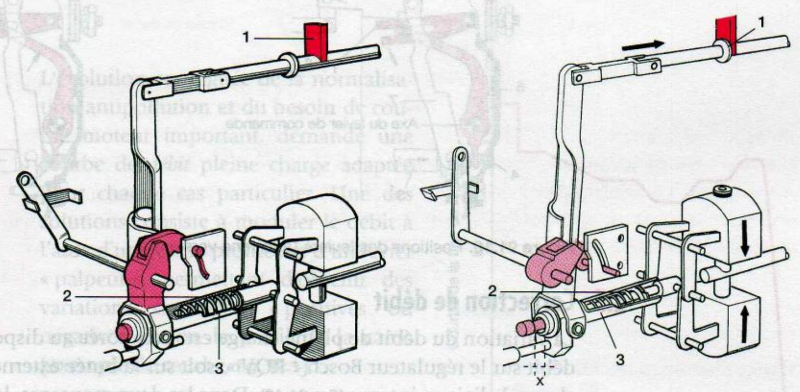


Figure 91.6. Position stop

Figure 91.7. Position au démarrage

• **Démarrage**

La course de la *tige de réglage* étant limitée à l'aide d'une *butée de débit* (débit de pleine charge, **fig. 91.7**), un dispositif permettant d'augmenter cette course est nécessaire pendant la phase de démarrage à froid du moteur.

a) Butée à commande externe (manuelle, **fig. 91.8** ou électrique, **fig. 91.9**).

b) Butée automatique (fig. 91.10 et 91.12). Au démarrage, l'axe mobile (3) comprime le *ressort* (4) et éloigne le levier basculeur (5) de sa position repos (cote x, **fig. 91.10a**). La *butée* de pleine charge (1) est ainsi dégagée libérant la *tige de réglage* (6) vers une course plus importante (débit de démarrage, **fig. 91.10a**).

Dès le démarrage du moteur, les *masselottes* de l'ensemble tournant (**fig. 91.7**) s'écartent, l'axe mobile (3) est tiré vers l'avant (**fig. 91.10b**), le ressort (4) ramène le levier basculeur (5) en position repos (*butée de pleine charge* (1) en position haute), tandis que simultanément, le levier de réglage (7) tire la chape (8) vers l'arrière, le levier de commande externe étant ramené en position *ralenti* par l'utilisateur.

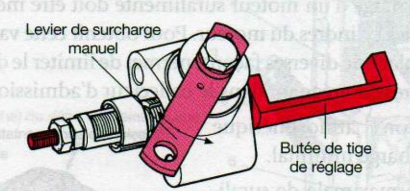


Figure 91.8. Commande manuelle par câble

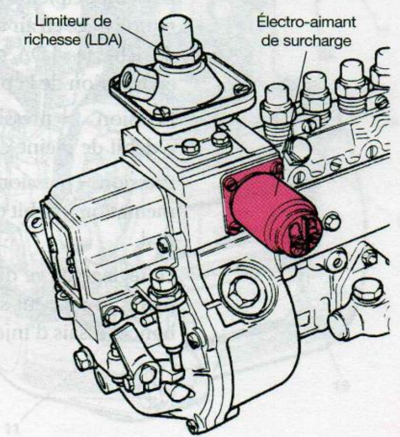


Figure 91.9. Commande électrique

Le système est maintenant verrouillé pour la fonction « *butée de débit* pleine charge ».

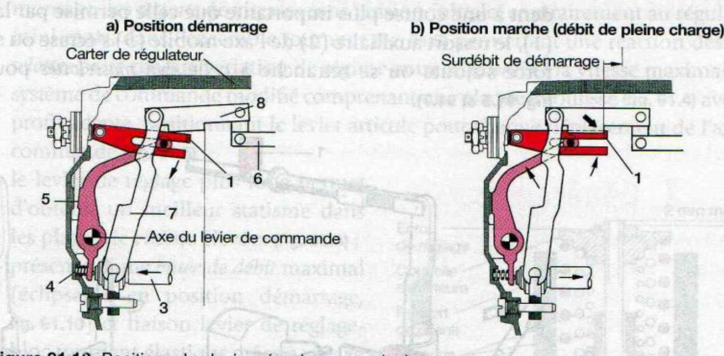


Figure 91.10. Positions des leviers (ancienne version)

2.3 Correction de débit

La variation du débit de pleine charge est incorporée au dispositif de limitation de débit sur le régulateur Bosch « RQV », soit sur la butée externe **(fig. 91.11)**, soit sur la chape de liaison interne **(fig. 91.12)**. Dans les deux montages, la course de correction et la tension du ressort comportent des réglages séparés.

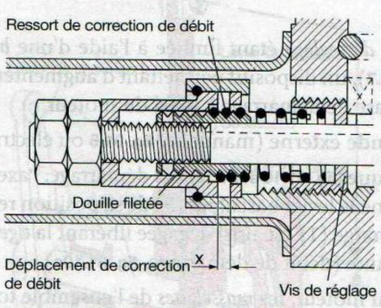


Figure 91.11. Dispositif de correction de débit sur butée externe *(Doc. Bosch)*

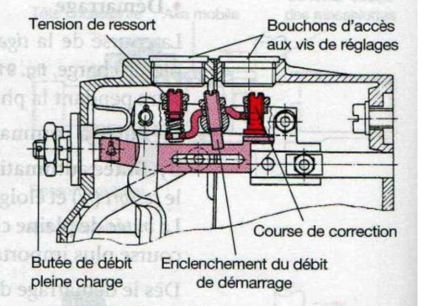


Figure 91.12. Dispositif de correction de débit sur chape interne *(Doc. Bosch)*

2.4 Limiteur de richesse

Le débit de pleine charge d'un moteur suralimenté doit être modulé en fonction du remplissage en air des cylindres du moteur. Pour obtenir cette variation, un « limiteur de richesse » LDA, placé de diverses façons, permet de limiter le débit de pleine charge en fonction de la pression régnant dans le collecteur d'admission **(fig. 91.13)**.

Pression = pression atmosphérique = débit de pleine charge minimal.

Pression = pression maximale de suralimentation = débit de pleine charge maximal.

Le réglage de ce dispositif doit être très précis et ne peut s'effectuer que sur un banc d'essais d'injection.

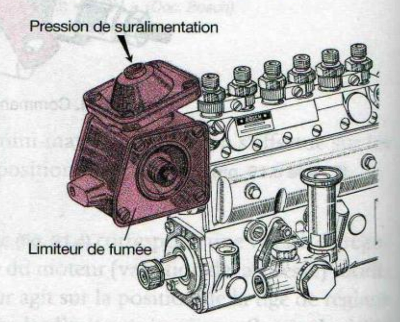


Figure 91.13. Limiteur de richesse (LDA) sur une pompe d'injection taille « A »

Régulateur « à profil de cames »

L'évolution conjuguée de la normalisation antipollution et du besoin de couple moteur important, demande une courbe de *débit* pleine charge adaptée pour chaque cas particulier. Une des solutions consiste à moduler le débit à l'aide d'une came profilée et d'un levier « palpeur », permettant d'obtenir des variations du débit « positives ou négatives » selon le profil de la came (exemple de courbe, **fig. 92.1**).

Le déplacement du levier « palpeur » sur le profil de la came butée (**fig. 92.3**) en fonction de la vitesse de rotation est obtenu à l'aide d'une articulation supplémentaire (levier de guidage, **fig. 92.2 et 92.4**) guidée par un axe A (**fig. 92.3**). Le mouvement du levier de guidage est schématisé sur la **figure 92.3**.

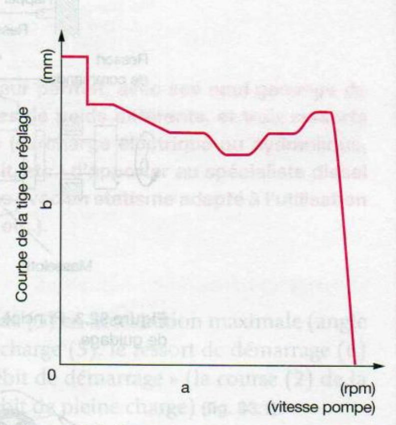
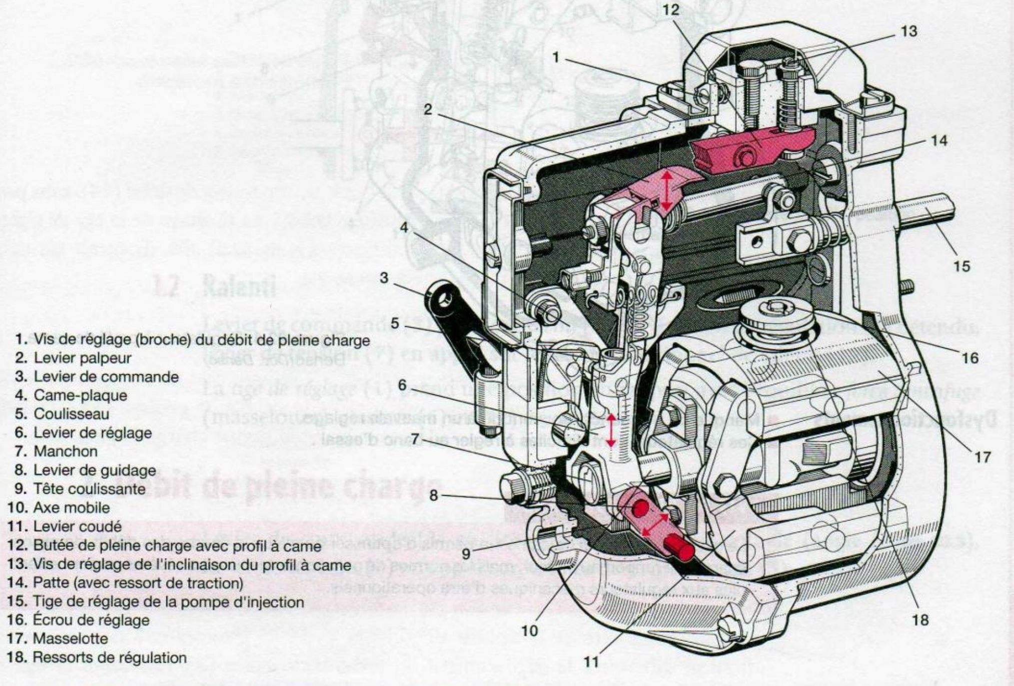
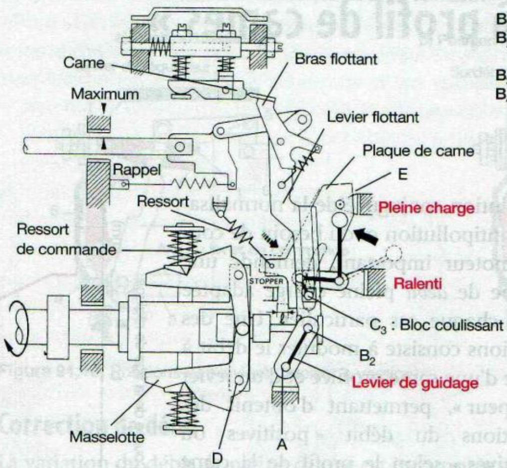


Figure 92.1. Exemple de courbe de débit pleine charge obtenue à l'aide d'un profil de came *(Doc. Zexel)*



1. Vis de réglage (broche) du débit de pleine charge
2. Levier palpeur
3. Levier de commande
4. Came-plaque
5. Coulisseau
6. Levier de réglage
7. Manchon
8. Levier de guidage
9. Tête coulissante
10. Axe mobile
11. Levier coudé
12. Butée de pleine charge avec profil à came
13. Vis de réglage de l'inclinaison du profil à came
14. Patte (avec ressort de traction)
15. Tige de réglage de la pompe d'injection
16. Écrou de réglage
17. Masselotte
18. Ressorts de régulation

Figure 92.2. Régulateur Bosch type RQV « K » (avec profil de came)



B_1. Pendant le démarrage
B_2. Au commencement de la commande de régime maximal
B_3. Pendant le ralenti et à pleine charge
B_4. À la fin de la commande de régime maximal

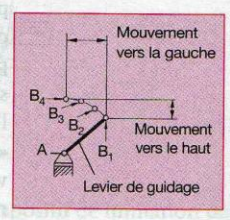


Figure 92.3. Principe d'un régulateur à profil de came Denso, type R801, avec mouvement du levier de guidage

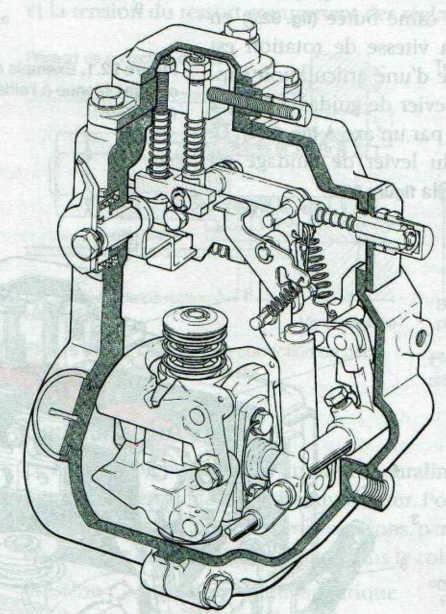


Figure 92.4. Régulateur à profil de came Denso*(Doc. Denso)*

Dysfonctionnements

- **Manque de puissance, souvent dû à un mauvais réglage.**
- **Ces régulateurs sont difficiles à régler au banc d'essai .**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La solution du « profil de came » a permis d'optimiser au mieux la courbe des débits de pleine charge par rapport au moteur, mais les normes de pollution actuelles plus sévères ne permettent plus aux régulateurs mécaniques d'être opérationnels.

Régulateur Bosch type RSV

1 Fonctionnement

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Ce régulateur permet, avec ses neuf gammes de *vitesses* standards (trois jeux de *masselottes* de poids différents, et trois *ressorts* de régulation), complétées par ses options (surcharge électrique ou hydraulique, limiteur de richesse LDA, correction de débit, etc.) d'apporter au spécialiste diesel averti une solution à la plupart des problèmes avec un statisme adapté à l'utilisation (groupes électrogènes, tracteurs, industrie, etc.).

1.1 Démarrage

Masselottes (4) au repos, levier de commande (3) en accélération maximale (angle α), levier de tension (7) en *butée* de pleine charge (5), le ressort de démarrage (6) amène la *tige de réglage* (1) en position « débit de démarrage » (la course (2) de la *douille de guidage* (13) en supplément du débit de pleine charge) (fig. 93.1).

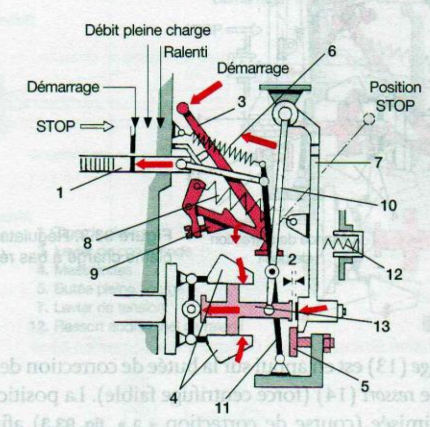


Figure 93.1. Régulateur RSV, position démarrage

1.2 Ralenti

Levier de commande (3) position *ralenti* (angle γ), *ressort* de régulation (8) détendu, levier de tension (7) en appui sur le ressort additionnel de ralenti (12).

La *tige de réglage* (1) prend une position en rapport avec l'équilibre *force centrifuge* (masselottes), ressorts (6) et (12) (fig. 93.2).

2 Débit de pleine charge

Levier de commande (3) en position accélération maximale (angle α, fig. 93.3), levier de tension (7) en appui sur la *butée* de pleine charge (5).

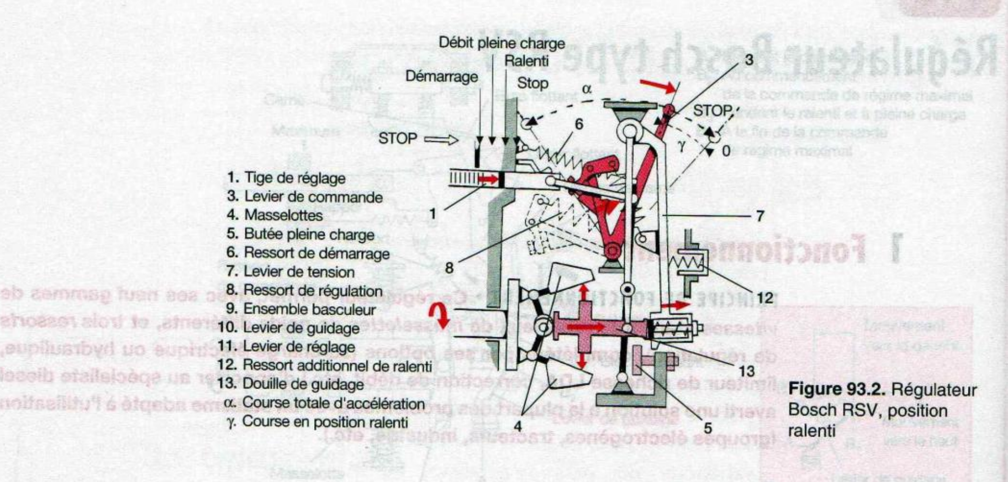


Figure 93.2. Régulateur Bosch RSV, position ralenti

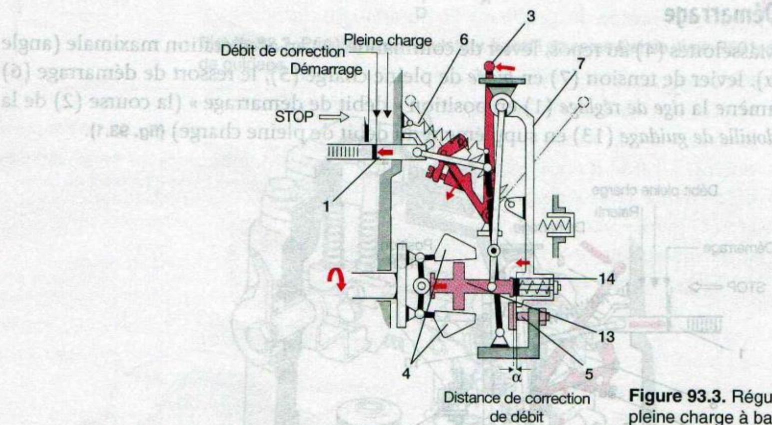


Figure 93.3. Régulateur Bosch RSV, pleine charge à bas régime

2.1 À bas régime

La *douille de guidage* (13) est en appui sur la butée de correction de débit (14), sans pouvoir comprimer le *ressort* (14) (force centrifuge faible). La position de la *tige de réglage* (1) est donc optimisée (course de correction « a », **fig. 93.3**) afin d'obtenir un débit injecté supérieur au *débit* de pleine charge **(fiche 91)**.

2.2 À haut régime

L'augmentation de la *force centrifuge* permet aux masselottes de comprimer le ressort de correction (14), par l'intermédiaire de la *douille de guidage* (13). Le *débit* injecté correspond alors à celui réglé par la *butée* de pleine charge (5) **(fig. 93.4)**.

3 Régulation de vitesse

Selon la tension imposée au ressort de régulation (8) en relation directe avec la position du levier de commande (3), la force centrifuge permettra aux masselottes, par l'intermédiaire de la douille de guidage (13), de provoquer à des régimes de rotation différents, le déplacement du levier de tension (7), ramenant la tige de réglage (1) vers la position Stop **(fig. 93.5)**.

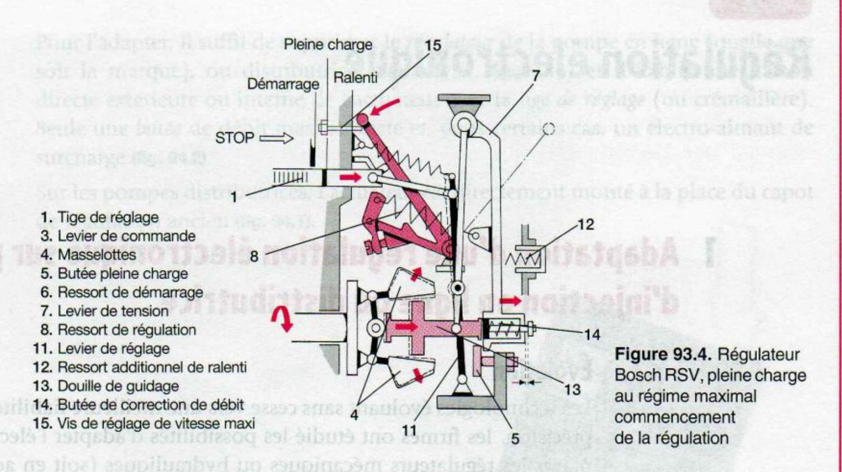


Figure 93.4. Régulateur Bosch RSV, pleine charge au régime maximal commencement de la régulation

La vitesse de rotation maximale est obtenue en limitant le débattement du levier de commande (3) à l'aide d'une butée réglable (15, **fig. 93.6**).

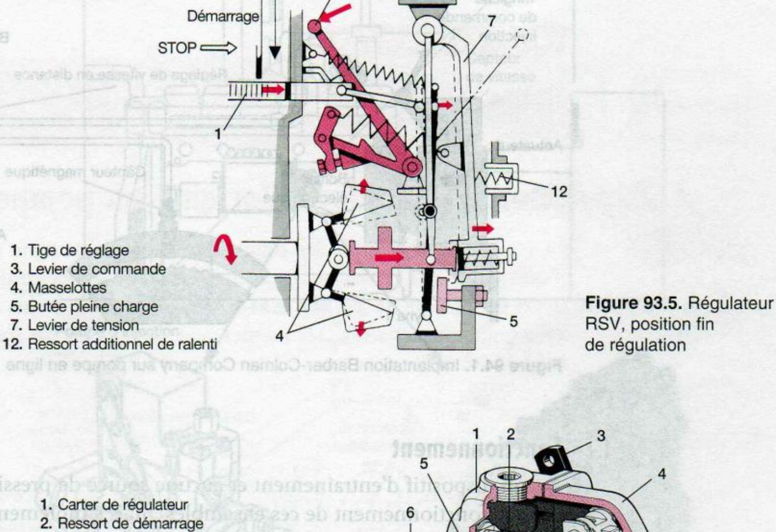


Figure 93.5. Régulateur RSV, position fin de régulation

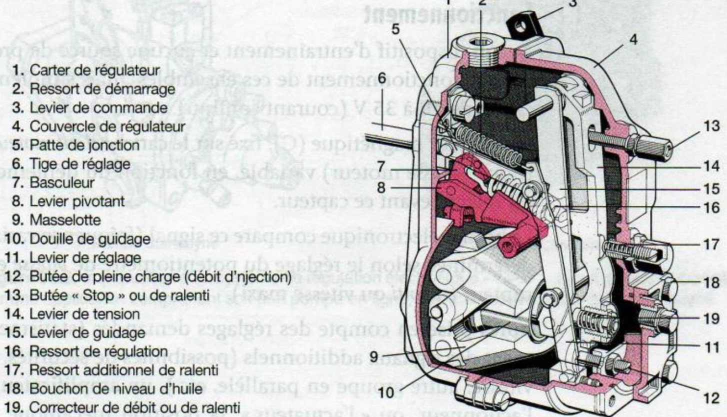


Figure 93.6. Régulateur Bosch « toutes vitesses » RSV (modèle sans levier de stop extérieur)

Régulation électronique

1 Adaptation d'une régulation électronique sur pompe d'injection en ligne ou distributrice

1.1 Évolution

Les technologies évoluant sans cesse vers une meilleure fiabilité et une plus grande précision, les firmes ont étudié les possibilités d'adapter l'électronique pour remplacer les régulateurs mécaniques ou hydrauliques (soit en adaptation, pour des régimes fixes, soit en montage d'origine) **(fig. 94.1, 94.2 et 94.3)**.

Les applications qui en bénéficient sont principalement les groupes électrogènes, où le « statisme » doit être faible et la régularité de fonctionnement indispensable.

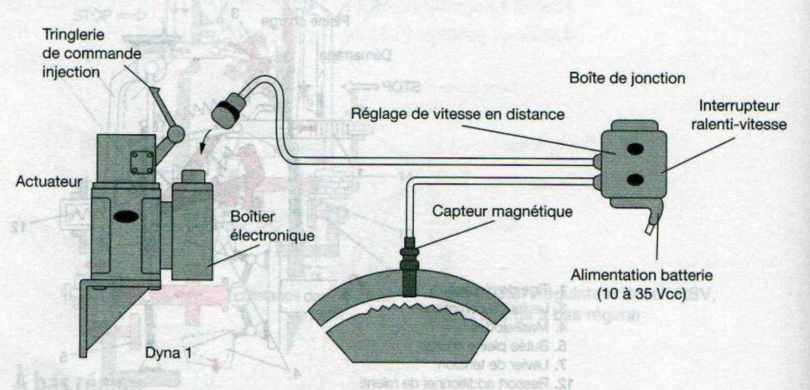


Figure 94.1. Implantation Barber-Colman Company sur pompe en ligne

1.2 Fonctionnement

Aucun dispositif d'entraînement et aucune source de pression ne sont nécessaires pour le fonctionnement de ces ensembles, mais simplement une source d'alimentation de 10 à 35 V (courant continu).

Un capteur magnétique (C), fixé sur le carter *volant moteur*, transmet un signal électrique (*vitesse* moteur) variable, en fonction du défilement de la couronne dentée du *volant* devant ce capteur.

Le boîtier électronique compare ce signal (fréquence variable) à une fréquence fixe, déterminée selon le réglage du potentiomètre de *vitesse* et de la position de l'interrupteur (*ralenti* ou vitesse maxi).

Après prise en compte des réglages demandés (statisme, *débit*, etc.) et éventuellement des signaux additionnels (possibilités de sécurités, température de l'eau, survitesse, autre groupe en parallèle, etc.), un amplificateur de puissance transmet à l'actionneur, ou « l'actuateur », la position mécanique que celui-ci doit prendre (position de la *tige de réglage* ou de soupape de dosage de la *pompe d'injection*).

Pour l'adapter, il suffit de supprimer le *régulateur* de la pompe en ligne (quelle que soit la marque), ou distributrice (Stanadyne, **fig. 94.1b**) et d'établir une liaison directe extérieure ou interne de l'actuateur avec la *tige de réglage* (ou crémaillère). Seule une *butée* de débit maxi subsiste et, dans certains cas, un électro-aimant de surcharge **(fig. 94.2)**.

Sur les pompes distributrices, l'actuateur est directement monté à la place du capot de régulation ancien **(fig. 94.1)**.

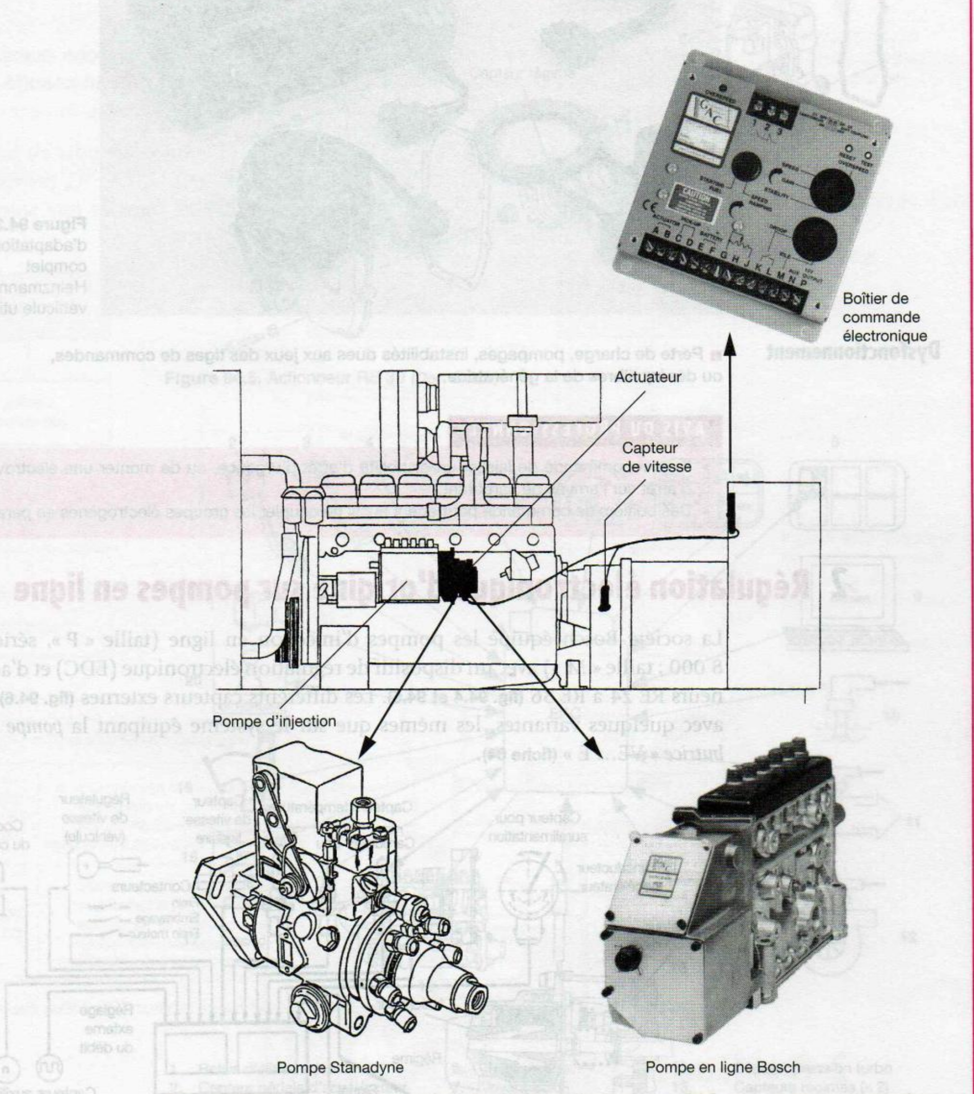


Figure 94.2. Implantation d'un système de régulation électronique « GAC » sur un groupe électrogène, sur une application comprenant soit une pompe en ligne, soit une pompe distributrice Stanadyne



Figure 94.3. Kit d'adaptation complet Heinzmann pour véhicule utilitaire

Dysfonctionnement

■ Perte de charge, pompages, instabilités dues aux jeux des tiges de commandes, ou déséquilibres de la génératrice.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Il est recommandé de laisser un dispositif d'arrêt d'urgence, ou de monter une électrovanne d'arrêt sur l'arrivée de carburant.
- Des boîtiers de commande permettent aussi de coupler les groupes électrogènes en parallèle.

2 Régulation électronique d'origine sur pompes en ligne

La société Bosch équipe les pompes d'injection en ligne (taille « P », série 7 et 8 000 ; taille « M ») avec un dispositif de régulation électronique (EDC) et d'actionneurs RE 24 à RE 36 **(fig. 94.4 et 94.5)**. Les différents capteurs externes **(fig. 94.6)** sont, avec quelques variantes, les mêmes que sur le système équipant la *pompe distributrice* « VE… E » **(fiche 64)**.

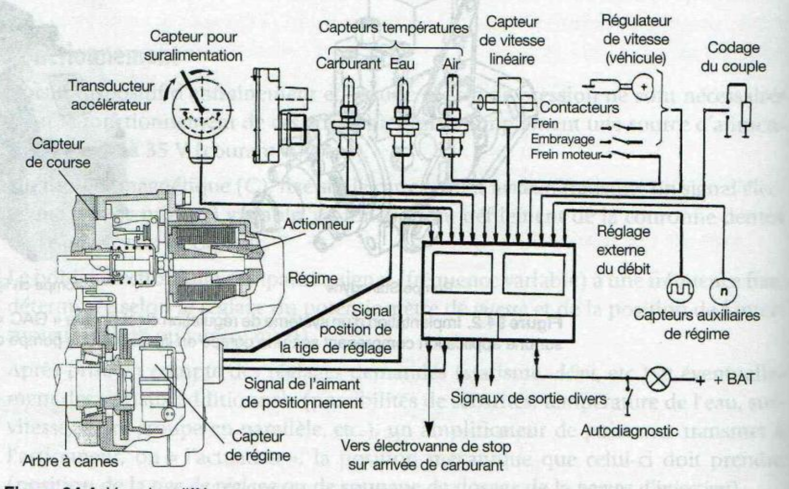


Figure 94.4. Vue des différents capteurs, et du régulateur électronique sur un équipement Bosch

La *pompe d'injection* est munie d'un dispositif d'arrêt électrique commandé par l'unité centrale électronique, il n'y a pas de capteur sur un *porte-injecteur* (pas de pilotage du point d'injection), mais une information de la *vitesse* moteur est transmise à l'unité centrale par la borne « W » de l'alternateur. Le système d'actionnement de la *tige de réglage* est électromagnétique (bobine et noyau), avec information de la position **(fig. 94.4)**.

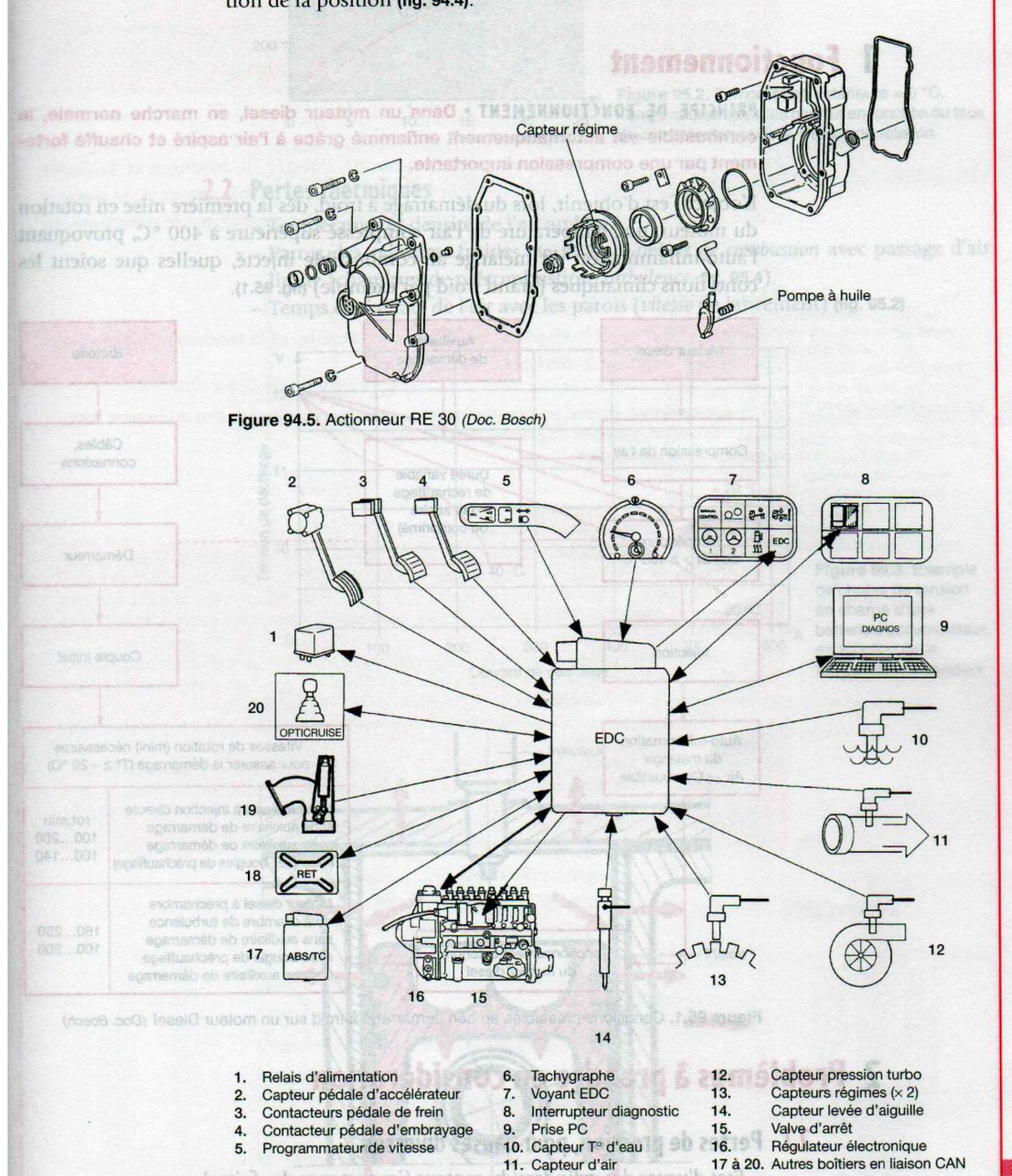


Figure 94.5. Actionneur RE 30 *(Doc. Bosch)*

1. Relais d'alimentation
2. Capteur pédale d'accélérateur
3. Contacteurs pédale de frein
4. Contacteur pédale d'embrayage
5. Programmateur de vitesse
6. Tachygraphe
7. Voyant EDC
8. Interrupteur diagnostic
9. Prise PC
10. Capteur T° d'eau
11. Capteur d'air
12. Capteur pression turbo
13. Capteurs régimes (× 2)
14. Capteur levée d'aiguille
15. Valve d'arrêt
16. Régulateur électronique

17 à 20. Autres boîtiers en liaison CAN

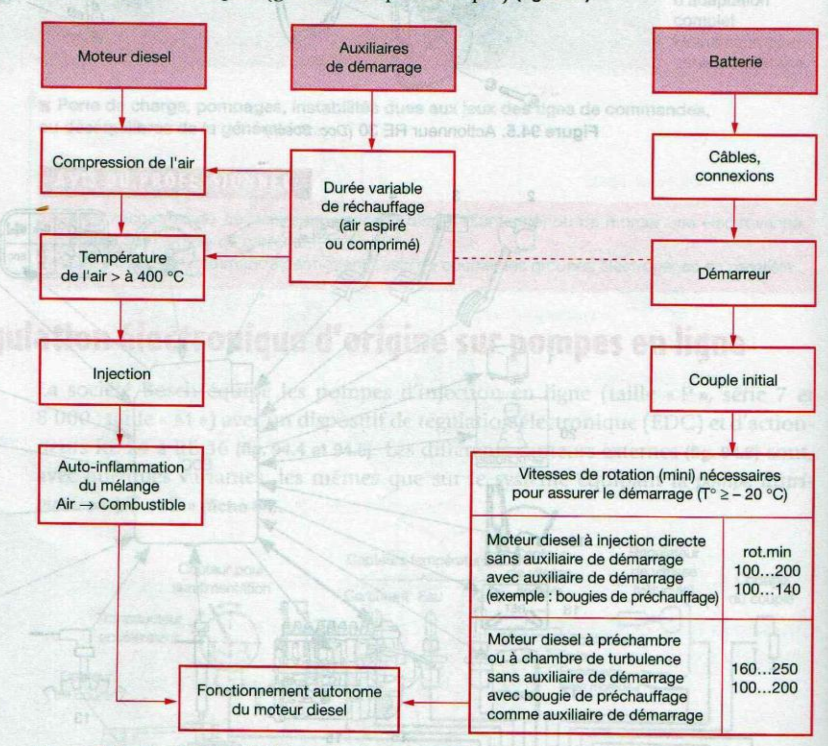
Figure 94.6. Système de gestion électronique (capteurs, actuateurs) sur moteur Scania équipé d'une pompe d'injection taille « H » avec régulateur « RE 36 » *(Doc. Scania)*

Auxiliaires de démarrage

1 Fonctionnement

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT • Dans un moteur diesel, en marche normale, le combustible est automatiquement enflammé grâce à l'air aspiré et chauffé fortement par une compression importante.

L'objectif est d'obtenir, lors du démarrage à froid, dès la première mise en rotation du moteur, une température de l'air compressé supérieure à 400 °C, provoquant l'auto-inflammation du mélange air-combustible injecté, quelles que soient les conditions climatiques (grand froid par exemple) **(fig. 95.1)**.



Vitesses de rotation (mini) nécessaires pour assurer le démarrage (T° ≥ – 20 °C)	
Moteur diesel à injection directe sans auxiliaire de démarrage avec auxiliaire de démarrage (exemple : bougies de préchauffage)	rot.min 100…200 100…140
Moteur diesel à préchambre ou à chambre de turbulence sans auxiliaire de démarrage avec bougie de préchauffage comme auxiliaire de démarrage	 160…250 100…200

Figure 95.1. Conditions préalables au bon démarrage à froid sur un moteur Diesel *(Doc. Bosch)*

2 Problèmes à prendre en considération

2.1 Pertes de pression, pour causes diverses

- État d'usure des cylindres du moteur (importance des fuites).
- Vitesse de lancement incorrecte, due soit au système électrique, soit à la *viscosité* de l'huile (durée des fuites, **fig. 95.2 à 95.4**).
- Film d'huile non formé entre la paroi du *cylindre* et le *piston* moteur **(fig. 95.4)**.

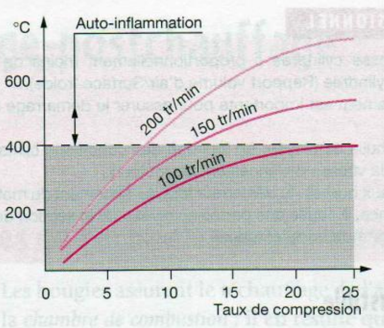


Figure 95.2. Température extérieure = 0 °C. Températures atteintes par l'air en fonction du taux de compression et de la vitesse de rotation

2.2 Pertes thermiques

– Température et densité de l'air ambiant.
– Parois des cylindres froides **(fig. 95.2)**, *chambres de combustion* avec passage d'air limité (chambres de précombustion, *turbulence*, **fig. 95.4**),
– Temps de contact de l'air avec les parois (*vitesse* de lancement) **(fig. 95.2)**.

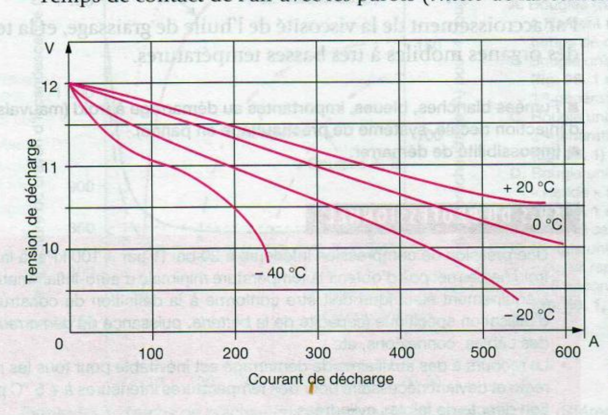


Figure 95.3. Exemple de chutes de tension en charge d'une batterie d'accumulateur, en fonction de la température extérieure

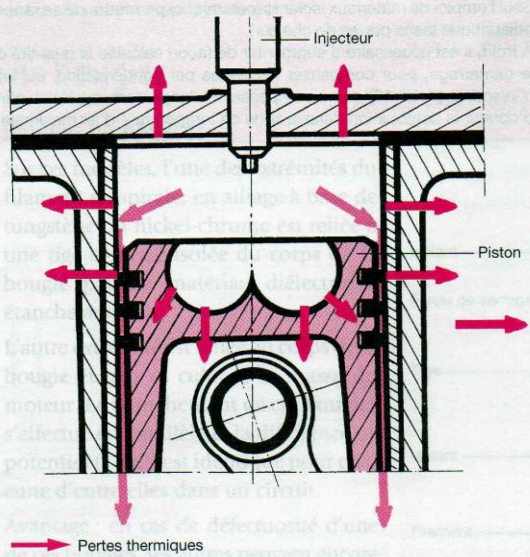


Figure 95.4. Pertes thermiques et pertes de pression sur un moteur diesel

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Un moteur de grosse cylindrée a proportionnellement moins de pertes thermiques qu'un moteur de petite cylindrée (Rapport volume d'air/Surface froide).
- La vitesse de lancement est importante pour assurer le démarrage du moteur diesel, et il faut se méfier de :
  – la *viscosité* de l'huile employée, en fonction des conditions climatiques (une huile trop visqueuse diminue la vitesse de lancement du moteur) ;
  – la tension réelle aux bornes du *démarreur* lors du lancement du moteur, quelquefois bien inférieure à la tolérance, à cause des pertes au niveau de la section des câbles, ou d'une liaison de masse châssis-moteur défectueuse !

2.3 Qualité du combustible

La température ambiante *(viscosité)*, la quantité injectée, le moment et la durée d'injection, la finesse de pulvérisation (caractéristique de l'*injecteur* et de la *pression d'injection*) et l'indice de cétane ont une influence importante sur le déroulement des premières combustions à froid.

2.4 Résistances passives

Par accroissement de la viscosité de l'huile de graissage, et la tendance au gommage des organes mobiles à très basses températures.

Dysfonctionnements

- **Fumées blanches, bleues, importantes au démarrage à froid (mauvais état du moteur, point d'injection décalé, système de préchauffage en panne).**
- **Impossibilité de démarrer.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Une pression de compression inférieure à 20 bar (1 bar = 100 kPa) à la *vitesse de démarrage* à froid ne permet pas d'obtenir la température minimale d'auto-inflammation sur un moteur diesel.
- L'équipement électrique doit être conforme à la définition du constructeur et aux conditions d'utilisation spécifique (capacité de la *batterie*, puissance du *démarreur*, sections et longueurs des câbles, connexions, etc.).
- Le recours à des auxiliaires de démarrage est inévitable pour tous les moteurs à injection indirecte et devient nécessaire pour des températures inférieures à + 5 °C pour les moteurs à injection directe de faibles cylindrées.
- Seul l'emploi de matériaux isolants (céramique) permettra de se rapprocher d'une compression adiabatique (sans pertes de chaleur).
- À froid, il est nécessaire d'augmenter de façon calculée la quantité de carburant injectée pour le démarrage, pour compenser les pertes par condensation, ou fuites, et d'*avancer le point d'injection* **(fiche 10)** pour compenser l'allongement du délai d'inflammation et permettre d'obtenir la combustion dans la zone de température d'air maximale.

Préchauffage-postchauffage

1 Bougies de réchauffage (à incandescence)

Les bougies assurent le réchauffage de l'air là où il doit être utilisé, c'est-à-dire dans la *chambre de combustion* ; il en résulte que le rendement est excellent.

L'inflammation est facilitée par le contact de quelques particules du combustible avec le filament porté au rouge (850 à 1 150 °C).

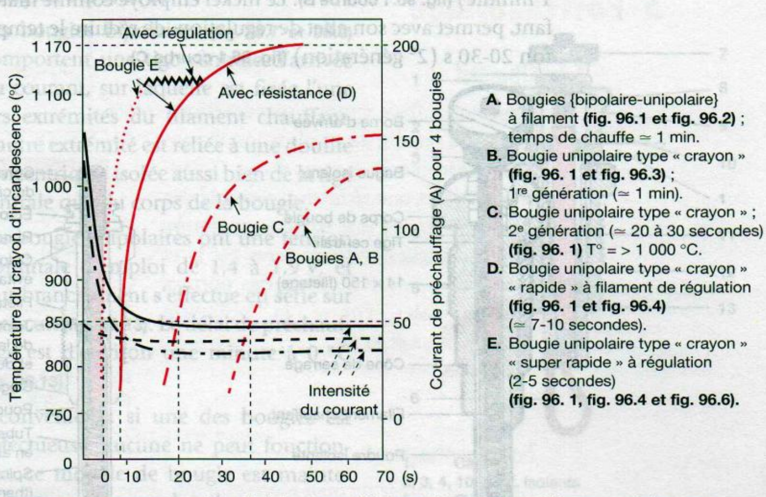


Figure 96.1. Temps de préchauffe(s) et intensité absorbée selon les différentes générations de bougies de préchauffage diesel

2 Types de bougies

2.1 Bougies unipolaires

Sur ces modèles, l'une des extrémités du filament en spirale, en alliage à base de tungstène ou nickel-chrome est reliée à une tige centrale isolée du corps de la bougie par un matériau diélectrique étanche aux gaz.

L'autre extrémité est reliée au corps de la bougie et, par ce culot, à la masse du moteur. Le branchement de ces bougies s'effectue en parallèle et la différence de potentiel (DDP) est identique pour chacune d'entre elles dans un circuit.

Avantage : en cas de défectuosité d'une de ces bougies, les autres peuvent encore fonctionner.

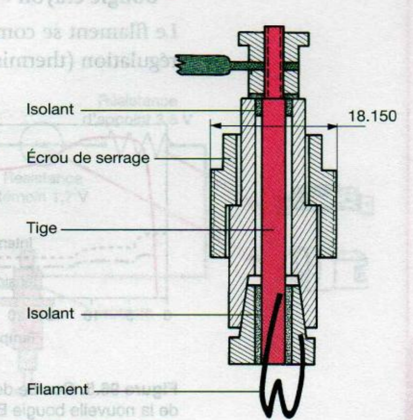


Figure 96.2. Bougie unipolaire à filament

• **Bougie à filament**

De 12 ou 24 volts, celle-ci ne s'utilise plus sur les véhicules légers (temps de chauffe long). Le filament, court et d'une section plus grosse que sur la bougie crayon, résiste mieux aux vibrations **(fig. 96.1 courbe A et fig. 96.2)**.

• **Bougie « crayon »**

Destinée aux *chambres de turbulence*, elle est maintenant plus petite que la bougie à filament. L'évolution technologique a permis, ces dernières années, de ramener la durée de mise en action d'environ 1 minute à quelques secondes (2 à 6 s pour une température extérieure de 0 °C). Les principales modifications ont eu lieu sur le filament chauffant, le tube crayon et, dernièrement, avec l'arrivée de la céramique **(fig. 96.6)**. La bougie crayon ancienne version **(fig. 96.3)** comportait un filament de chauffage enrobé dans de l'oxyde de magnésium (temps de chauffage, environ 1 minute) **(fig. 96.1 courbe B)**. Le nickel employé comme matériau du filament chauffant, permet avec son effet de régulation, de réduire le temps de *préchauffage* à environ 20-30 s (2e génération) **(fig. 96.1 courbe C)**.

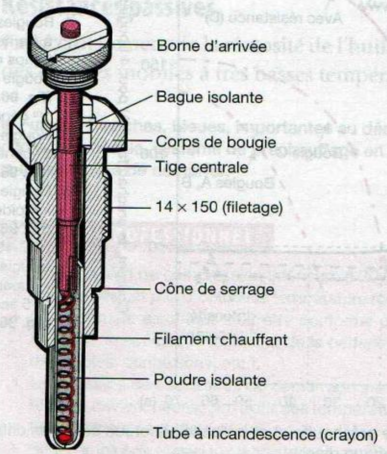


Figure 96.3. Bougie « crayon » Bosch, ancienne exécution

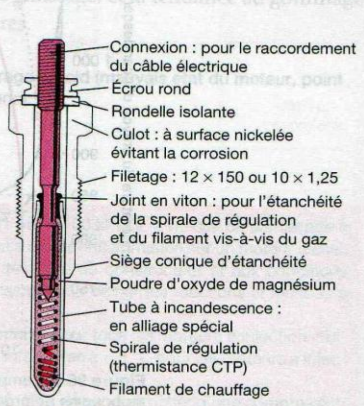


Figure 96.4. Bougie « crayon » Bosch, nouvelle génération, à chauffage rapide, type « R » (5 à 8 s à 0 °C) (en haut, nouvelle génération Duraterm) *(Doc. Bosch)*

• **Bougie crayon « rapide » et « super-rapide » (3e, 4e, 5e génération)**

Le filament se compose de deux parties : le filament chauffant et la résistance de régulation (thermistance CTP = coefficient de température positif) **(fig. 96.4 à 96.6)**.

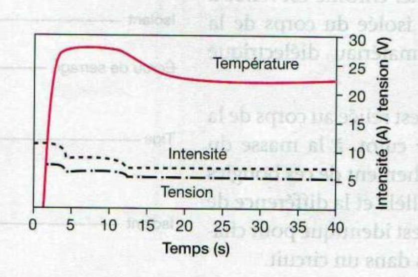
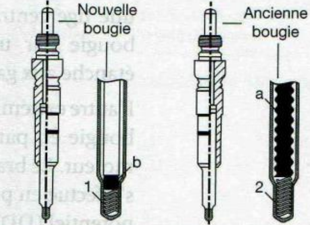


Figure 96.5. Courbe de température de la nouvelle bougie Béru ISS (démarrage en 2 s) *(Doc. BMW)*



a. Filament de régulation ancienne génération
b. Filament de régulation court nouvelle régulation
1 et **2** = filament de chauffage

Figure 96.6. Comparaison de la technologie des bougies de préchauffage Béru au niveau du filament de régulation

- **Fonctionnement**

À la mise en action, le filament chauffant transmet rapidement sa chaleur à la poudre isolante, puis au tube à incandescence. Ensuite, la résistance de régulation (CTP) sert de limiteur de courant et évite ainsi une surchauffe (la résistance du filament augmente avec la chaleur).

Sur les nouvelles technologies de moteurs diesels avec les injections hautes pressions, les bougies sont quelquefois commandées durant la marche du moteur, si les conditions de températures dans les *chambres de combustion* sont défavorables.

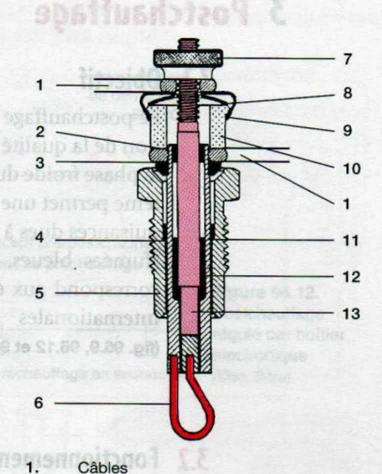
Ces nouveaux moteurs ont aussi besoin des *bougies de chauffage* pour assurer le maintien de la température normale du moteur (sur un boîtier à eau, du circuit de refroidissement du moteur).

2.2 Bougies bipolaires

Les bougies bipolaires **(fig. 96.7 et 96.8)** comportent une tige centrale d'arrivée du courant, sur laquelle est fixée l'une des extrémités du filament chauffant. L'autre extrémité est reliée à une douille concentrique, isolée aussi bien de la tige centrale que du corps de la bougie.

Les bougies bipolaires ont une tension nominale d'emploi de 1,4 à 1,9 V, et leur branchement s'effectue en série sur le circuit **(fig. 96.13)**. Le délai de préchauffage est d'environ une minute à 0 °C **(fig. 96.13)**.

Inconvénient : si une des bougies est défectueuse, aucune ne peut fonctionner, ce modèle de bougie est maintenant pratiquement abandonné.



1. Câbles
2, 3, 4, 10 et 12. Isolants
5. Culot
6. Résistance
7. Écrou de raccordement
8 et 9. Capuchons
11. Conducteur extérieur
13. Conducteur intérieur

Figure 96.7. Bougie de préchauffage bipolaire

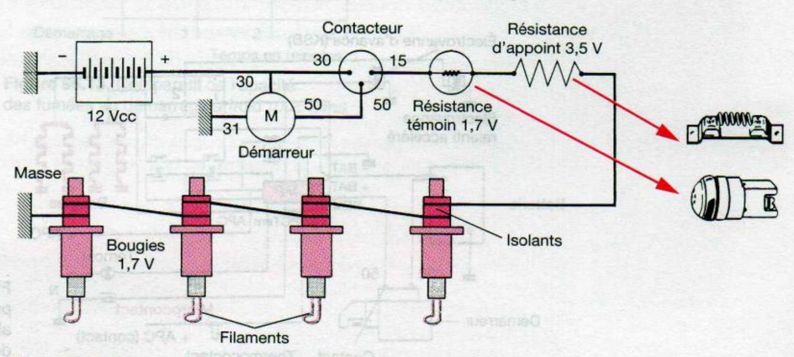


Figure 96.8. Branchement d'un circuit simple avec bougies bipolaires (en série)

Dysfonctionnement ■ Mauvais démarrage à froid, fumées blanches, moteur instable sont les symptômes d'un dysfonctionnement du circuit de préchauffage.

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La bougie de préchauffage doit être parfaitement étanche aux gaz, cette étanchéité étant obtenue par un siège conique à 60°, ou un siège plat anciennement. Le couple de serrage sur la culasse doit être impérativement respecté.
- Chaque moteur a une bougie qui lui est adaptée, en fonction des contraintes fixées par le constructeur, et le montage d'une référence non conforme peut avoir de graves conséquences.
- Une bougie de préchauffage n'a pas les mêmes caractéristiques que celle ayant les fonctions de « préchauffage + postchauffage » (la spirale de régulation et la résistance aux chocs thermiques du crayon sont différentes).
- Attention : l'état des bougies de préchauffage lors de la dépose du moteur est un indicateur de l'état du moteur ou du circuit d'injection.

3 Postchauffage

3.1 Objectif

Le postchauffage apporte une amélioration de la qualité de combustion durant la phase froide du moteur diesel. Ce système permet une réduction sensible des nuisances dues à une basse température (fumées bleues, odeurs âcres, etc.), et correspond aux évolutions des normes internationales contre la pollution **(fig. 96.9, 96.12 et 96.13)**.

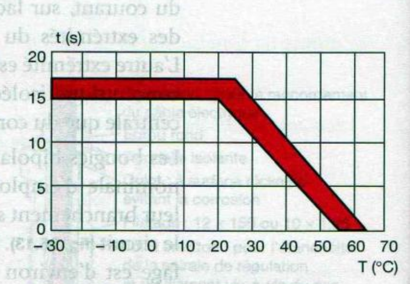


Figure 96.9. Postchauffage temporisé *(Doc. Mercédès-Benz)*

3.2 Fonctionnement

Le postchauffage ne peut intervenir que dans des situations bien précises, afin d'éviter les problèmes (combustion, destruction des bougies, etc.).

- Mise en fonction par un relais de pré/postchauffage spécifique, avec temporisation supplémentaire après démarrage **(fig. 96.10)** en fonction de la température moteur et extérieure **(fig. 96.9)**.
- Élimination de la temporisation du postchauffage dès le dépassement de la position « charge partielle », à l'aide d'un microcontacteur, commandé par le déplacement du levier de commande sur la *pompe d'injection* **(fig. 96.10 et 96.11)** (réglages, diagnostics).

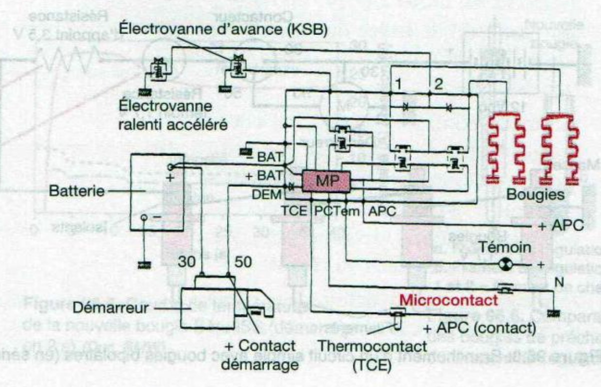


Figure 96.10. Circuit de pré/postchauffage avec alimentation deux par deux des bougies, en phase de postchauffage *(Doc. Auto-Volt)*

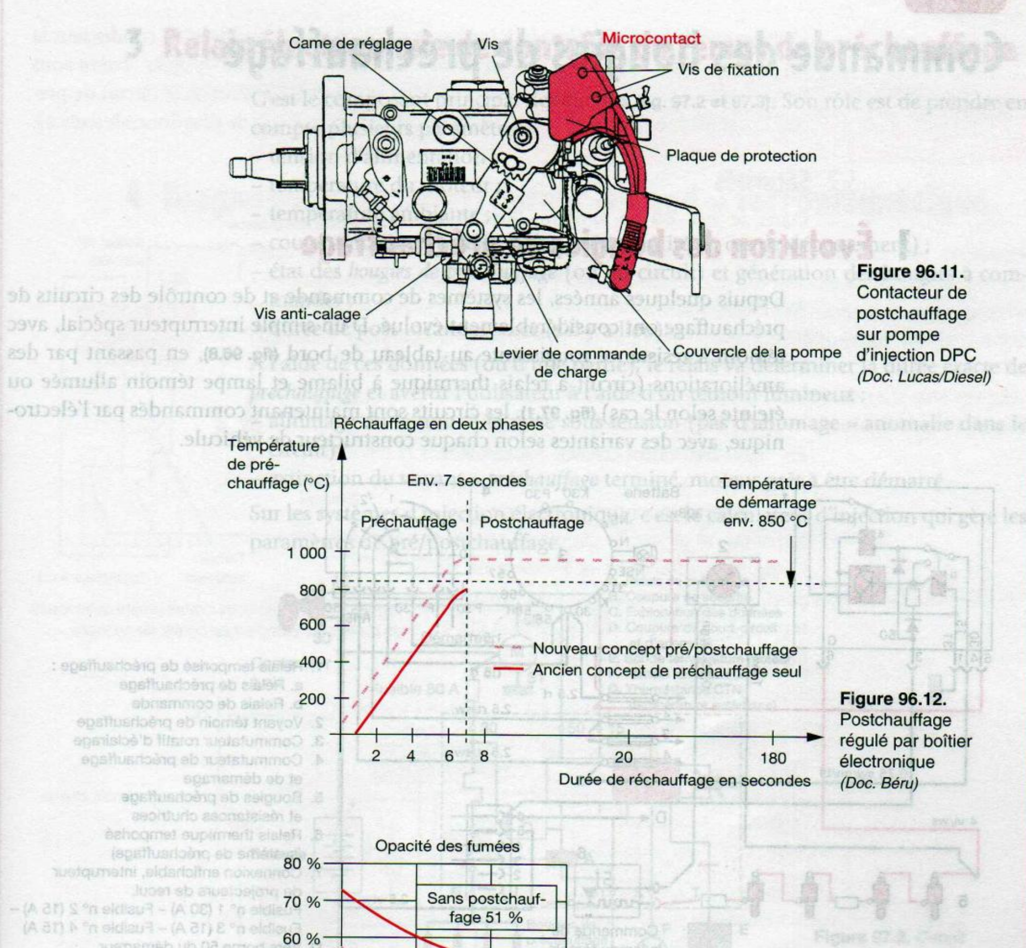


Figure 96.11. Contacteur de postchauffage sur pompe d'injection DPC *(Doc. Lucas/Diesel)*

Figure 96.12. Postchauffage régulé par boîtier électronique *(Doc. Béru)*

Figure 96.13. Comparatif de l'opacité des fumées au démarrage à froid *(Doc. Béru)*

Commande des bougies de préchauffage

1 Évolution des bougies de préchauffage

Depuis quelques années, les systèmes de commande et de contrôle des circuits de préchauffage ont considérablement évolué. D'un simple interrupteur spécial, avec témoin à résistance rougissante au tableau de bord **(fig. 96.8)**, en passant par des améliorations (circuit à relais thermique à bilame et lampe témoin allumée ou éteinte selon le cas) **(fig. 97.1)**, les circuits sont maintenant commandés par l'électronique, avec des variantes selon chaque constructeur de véhicule.

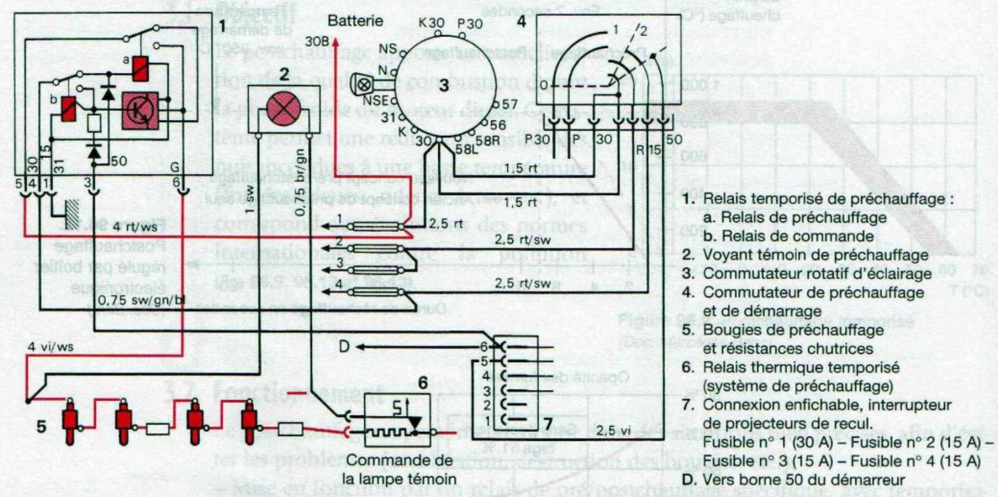


Figure 97.1. Schéma de l'installation électrique de démarrage avec bougies bipolaires (application Mercédès) *(Doc. RTA)*

2 Commande des fonctions pré/postchauffage sur les équipements d'injection à assistance électronique

Les calculateurs des équipements à régulation électronique sur pompes d'injection (en lignes ou distributrices) commandent désormais les fonctions pré/poschauffage directement, ou à l'aide d'un relais de puissance, le relais électronique séparé devenant inutile.

Dysfonctionnement

- **Panne du circuit, par une ou plusieurs bougies de préchauffage HS, le boîtier électronique est alors en « sécurité », et il suffit de remettre des bougies neuves pour débloquer cette sécurité.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les modes de commandes des bougies sont multiples et sont devenus complexes, l'appellation « boîtier relais de préchauffage » est simplifiée, celui-ci étant souvent un boîtier électronique à fonctions multiples, et le dépannage n'est souvent possible qu'en possession du schéma électrique, et du mode de diagnostic.
- La bougie de pré/postchauffage est un produit très technique, attention aux « imitations ».

3 Relais électronique de contrôle du temps de préchauffage

C'est le composant principal des circuits **(fig. 97.2 et 97.3)**. Son rôle est de prendre en compte plusieurs paramètres :
- tension d'alimentation ;
- température du moteur ;
- température ambiante ;
- courant maximal à délivrer (mise en sécurité en cas de dépassement) ;
- état des *bougies de préchauffage* (ou du circuit) et génération des bougies à commander ;
- durée de post-incandescence (s'il y a lieu).

À l'aide de ces données (ou d'une partie), le relais va déterminer la durée exacte de *préchauffage* et avertir l'utilisateur à l'aide d'un témoin lumineux :
- allumage du témoin à la mise sous tension (pas d'allumage = anomalie dans le circuit) ;
- extinction du voyant = *préchauffage* terminé, moteur prêt à être démarré.

Sur les systèmes d'injection électronique, c'est le calculateur d'injection qui gère les paramètres de pré/postchauffage.

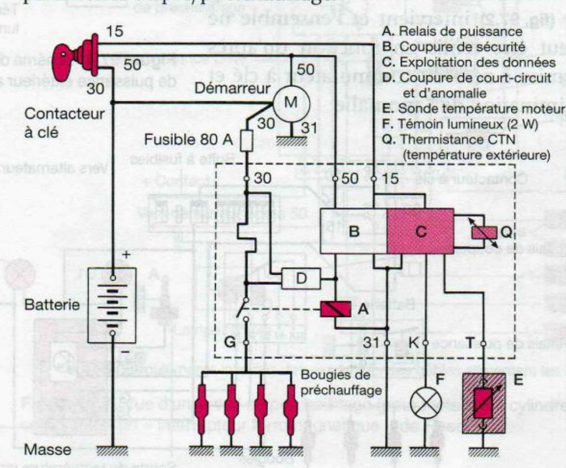


Figure 97.2. Circuit de réchauffage avec boîtier de contrôle électronique et relais de puissance intégré

3.1 Fonctionnement

Le boîtier représenté à la **figure 97.2** est une synthèse des modèles courants, avec relais de puissance interne **(fig. 97.5 et 97.7)**. L'actionnement du *contacteur* de préchauffage (clé de contact) alimente, par la borne 15, le relais de puissance A et les bougies de préchauffage, sauf si la température du moteur est supérieure au seuil de déclenchement de la sonde E (égal à 40 °C). Une minuterie C va déterminer le temps de mise en action en fonction de la température ambiante, donnée par la *résistance* CTN (coefficient de négatif) (Q).

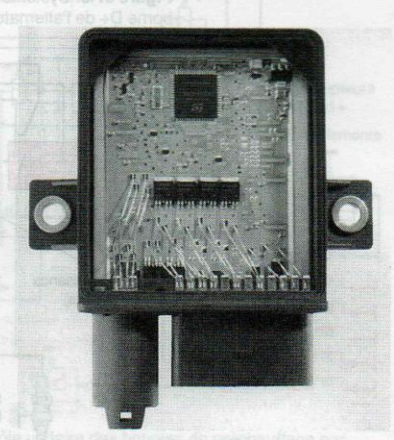


Figure 97.3. ISS Béru pour les diesels BMW

L'extinction de la lampe témoin F (puissance 2 W maxi) va indiquer au conducteur la fin de *préchauffage*. Au cours de l'actionnement du *démarreur*, les bougies restent sous tension par la commande de la borne 50. Dès le démarrage effectué, le circuit de préchauffage est coupé (sauf si le boîtier comporte une minuterie de post-incandescence).

3.2 Sécurités

Dans le cas où le moteur n'est pas démarré après l'extinction de la lampe témoin, le boîtier de contrôle **(fig. 97.4)** met l'ensemble hors circuit par la minuterie B **(fig. 97.2)** (10 à 20 s pour les *bougies crayons* et 110 s pour les filaments), ce qui évite la décharge de la batterie et le fonctionnement inutile des *bougies*.

En cas de court-circuit, surtension (supérieure à 16 V), *fusible* défectueux, non-enclenchement du relais de puissance **(fig. 97.6)**, etc. le circuit de sécurité D **(fig. 97.2)** intervient et l'ensemble ne peut être remis en fonction qu'après remise à zéro du commutateur à clé et élimination de l'anomalie.

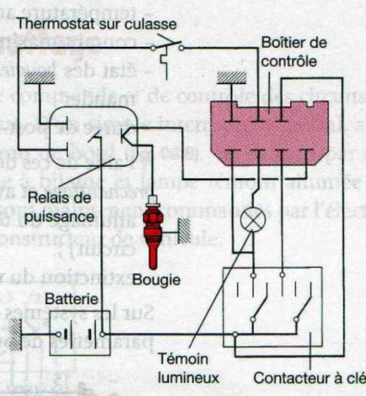


Figure 97.4. Schéma de branchement avec relais de puissance extérieur au boîtier de contrôle

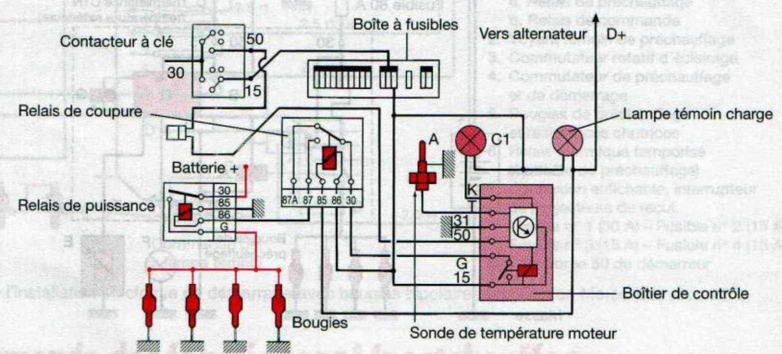


Figure 97.5. Système de préchauffage avec relais de puissance et relais extérieur de coupure (par borne D+ de l'alternateur)

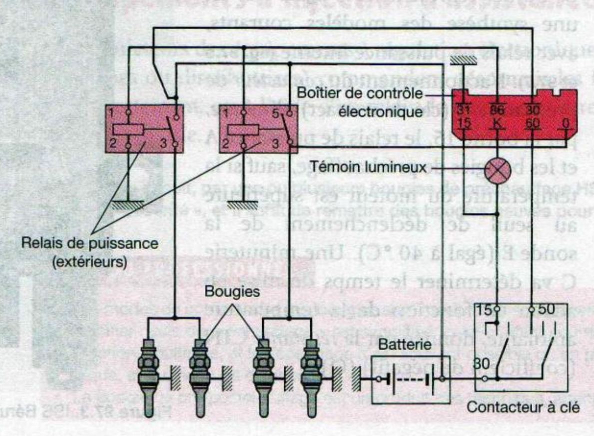


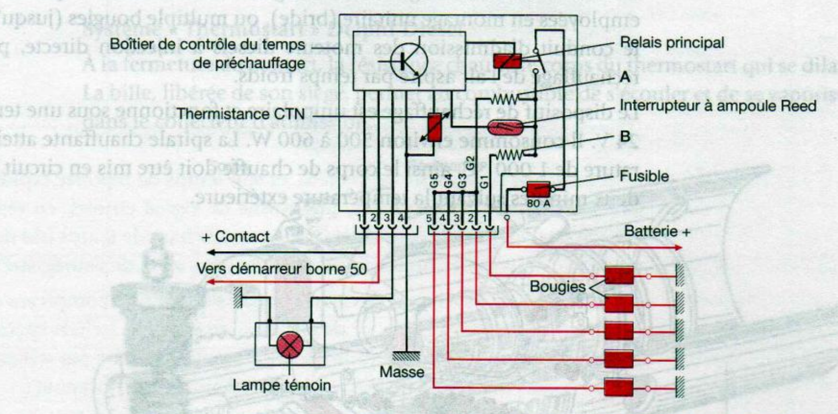
Figure 97.6. Schéma de branchement avec deux relais de puissance extérieurs au boîtier de contrôle, sans sonde de température

AVIS DU PROFESSIONNEL

- La lampe témoin peut, dans certains équipements, être utilisée comme « autodiagnostic ».
- Le calculateur sur un système électronique gère les temps mais commande un relais de puissance relié aux bougies.

4 Diagnostic pour interrupteur « Reed » ferromagnétique

Certains boîtiers de commande **(fig. 97.7 et 97.8)**, équipés d'un ou de plusieurs « *interrupteur* à ampoule » (Reed) et dont les extrémités des câbles de liaison A et B avec chacune des *bougies* sont enroulées autour de cet interrupteur en sens inverse (formant bobinage), permettent de signaler (par non-allumage de la lampe témoin) une défectuosité. En marche normale, le courant circule dans toutes les *bougies* et le champ magnétique s'annule. Dans le cas d'anomalie sur une ou plusieurs bougies, le champ magnétique, devenu actif, vient fermer le circuit de l'*interrupteur* de Reed et met la lampe témoin hors circuit.



A et B. Enroulements inverses des extrémités des câbles alimentant les bougies de préchauffage

Figure 97.7. Vue d'un circuit de préchauffage (pour moteur à 5 cylindres) avec boîtier de commande comprenant un « interrupteur ferromagnétique » de Reed

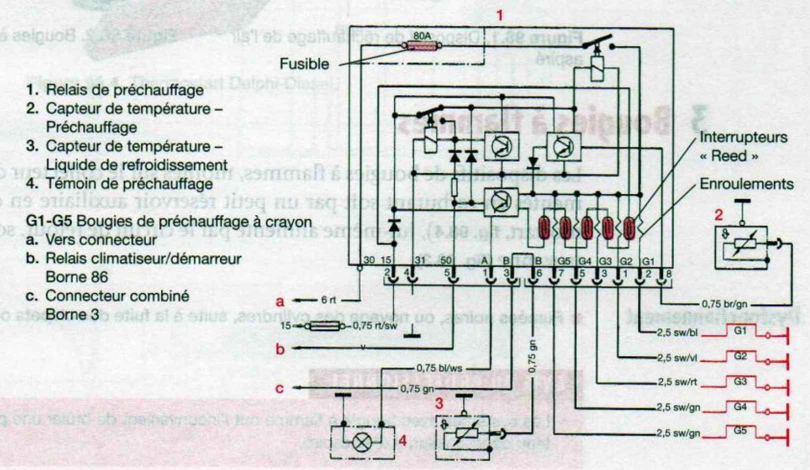


Figure 97.8. Boîtier relais électronique avec contrôle unitaire des bougies de préchauffage par interrupteurs « Reed » (moteur 5 cylindres) *(Doc. Mercédès-Benz)*

98 Réchauffage de l'air d'admission

1 Principe de fonctionnement

Par temps froid, le démarrage des moteurs à injection directe de moyenne ou forte cylindrée est considérablement amélioré par le réchauffage préalable de l'air aspiré à l'aide d'une ou de plusieurs résistances chauffantes **(fig. 98.1 à 98.4)**.

2 Brides de réchauffage, ou bougies spéciales

Les brides de réchauffage, ou les bougies à enroulements « spirale » externes sont employées en montage unitaire (bride), ou multiple bougies (jusqu'à 6), fixées sur le conduit d'admission des moteurs diesels à injection directe, pour assurer le réchauffage de l'air aspiré par temps froids.

Le dispositif de réchauffage est unipolaire et fonctionne sous une tension de 12 ou 24 V. Il consomme environ 500 à 600 W. La spirale chauffante atteint une température de 1 000 °C, ainsi le corps de chauffe doit être mis en circuit pendant une à deux minutes suivant la température extérieure.

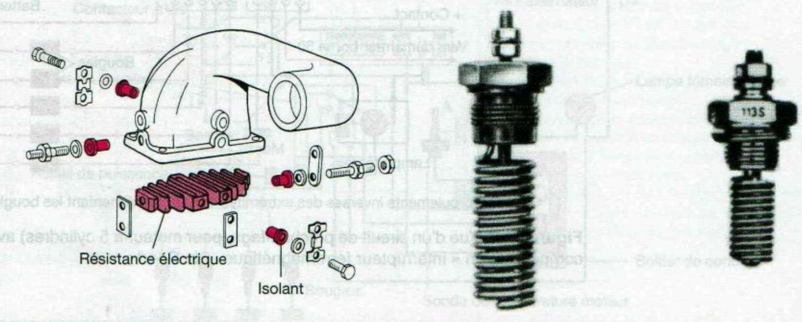


Figure 98.1. Dispositif de réchauffage de l'air aspiré

Figure 98.2. Bougies à résistance Béru

3 Bougies à flammes

Les dispositifs de bougies à flammes, montés sur le collecteur d'admission, sont alimentés en carburant soit par un petit réservoir auxiliaire en charge (pour le thermostart, **fig. 98.4**), lui-même alimenté par le circuit de retour, soit à l'aide d'une électrovanne **(fig. 98.3)**.

Dysfonctionnement

- **Fumées noires, ou noyage des cylindres, suite à la fuite des clapets ou électrovanne.**

AVIS DU PROFESSIONNEL

- Les systèmes avec bougie à flamme ont l'inconvénient de brûler une partie de l'oxygène contenu dans le volume d'air aspiré.

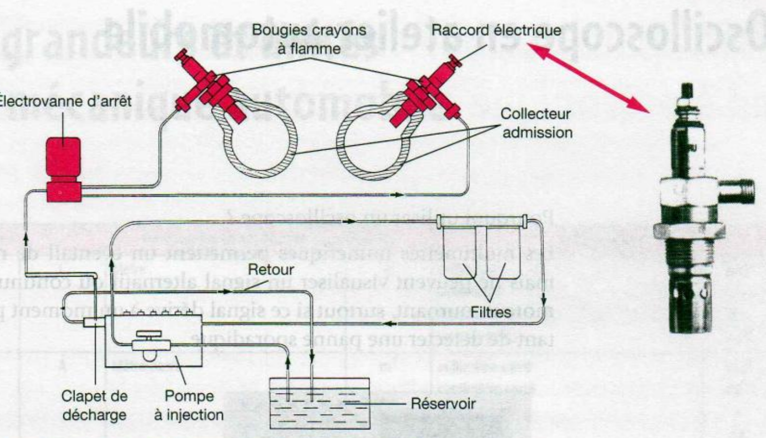


Figure 98.3. Bougies à flamme Bosch, sur moteur MAN.

Système « Thermostart » Delphi-Diesel

À la fermeture du contact, la résistance chauffe le corps du thermostart qui se dilate. La bille, libérée de son siège, permet au combustible de s'écouler et de se vaporiser, dans le collecteur d'admission.

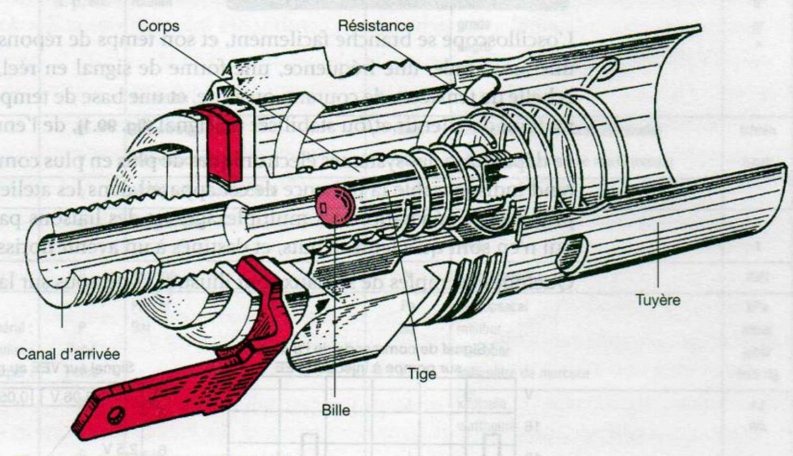


Figure 98.4. Thermostart Delphi-Diesel.

Oscilloscope en atelier automobile

Pourquoi utiliser un oscilloscope ?

Les multimètres numériques permettent un éventail de mesures sur les circuits, mais ne peuvent visualiser un signal alternatif ou continu en dynamique, sur un moteur tournant, surtout si ce signal dérive à un moment précis et rapide, permettant de détecter une panne sporadique.

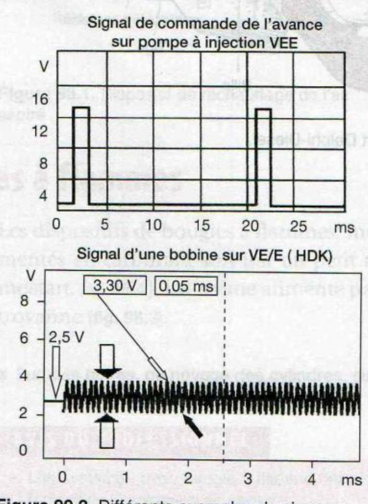


Figure 99.1. Oscilloscope

L'oscilloscope se branche facilement, et son temps de réponse rapide peut afficher une amplitude, une fréquence, une forme de signal en réel, en représentant une échelle de tensions, de courant, ou autre, et une base de temps très modulable, permettant de ralentir et/ou stabiliser un signal **(fig. 99.1)**, de l'enregistrer au besoin.

Le dépannage des systèmes électroniques de plus en plus complexes en automobile rend indispensable la présence de cet appareil dans les ateliers spécialisés d'autant plus avec la génération des multiplexages, et des liaisons par « Bus » de données, qui n'en sont qu'à leurs débuts, et destinés à un avenir florissant.

Quelques exemples de signaux sont illustrés ci-dessous sur la **figure 99.2**.



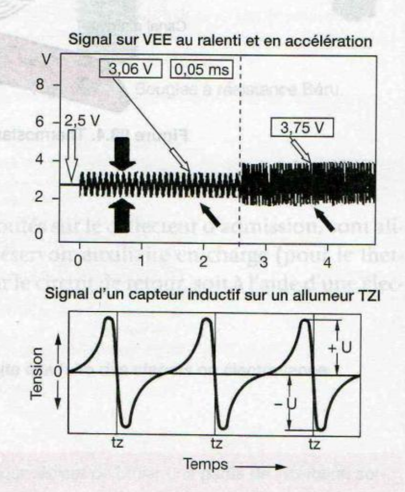


Figure 99.2. Différents exemples de signaux

Principales grandeurs et unités utilisées en mécanique automobile

Grandeurs et symboles		Désignation et abréviation (système SI)		Autres unités	
Longueur	L	Mètre	m	millimètre centimètre kilomètre inch (anglais)	mm cm km inch
Superficie	A	Mètre carré	m^2	millimètre carré centimètre carré are hectare	mm^2 cm^2 a ha
Volume	V	Mètre cube	m^3	centimètre cube décimètre cube ou litre (capacité) gallon US	cm^3 L gal
Temps	t	Seconde	s	minute heure année	min h an
Angle plan	α, β, etc.	Radian	rad	tour grade degré minute	tr gr ° '
Angle solide		Stéradian	st		
Vitesse angulaire	ϖ	Radian/seconde	rad/s	tour/minute (ou révolution/minute)	tr/min
Vitesse	V	Mètre/seconde	m/s	kilomètre/heure ; mile marin (nœud)	km/h
Accélération	γ	Mètre par seconde carré	m/s^2		
Masse	m	Kilogramme	kg	gramme tonne	g t
Force (dont poids)	F	Newton	N	décanewton	daN
Pression en général : absolue : barométrique :	 P Pabs Pamb	Pascal Bar	Pa bar	hectopascal millibar microbar millimètre de mercure	hPa mbar µbar mm Hg
Travail	W	Joule	J	kilojoule wattheure	kJ Wh
Énergie	E	Joule	J		
Puissance	P	Watt	W	kilowatt	kW
Couple	M	Newton-mètre	N·m	décanewton-mètre	daN·m
Viscosité dynamique : cinématique :	 η ν	Pascal-seconde Mètre carré/seconde	Pa·s m^2/s		
Consommation de combustible		Gramme/kilowatt/heure	g/kW/h		

Unités de température	Échelle des températures				
Les unités employées sont au nombre de quatre :		K	°C	°F	°R
°C = degré CELSIUS K = degré KELVIN °F = degré FAHRENHEIT °R = degré RANKINE	Point d'ébullition de l'eau à la pression atmosphérique normale (1 013,25 hPa)	373,15	100	212	671,67
	Point de fusion de la glace	273,15	0	32	491,67
	Zéro absolu	0	− 273,15	− 459,67	0

Principaux termes employés en électronique automobile

Actuateur (ou actionneur). Un actuateur transforme un ordre électrique envoyé par un calculateur ou boîtier *de commande* en mouvement (déplacement d'un organe mobile).

Autodiagnostic. Capacité d'un calculateur à fournir à une personne munie d'une clé d'accès des indications sur certaines anomalies de fonctionnement d'un système.

Bit (*Binary* digit). Unité élémentaire d'information ne pouvant prendre que deux états (0 ou 1).

Boîtier de commande. Voir *centrale de commande* (*ou* ECU, ou calculateur).

Bus. Faisceau de deux conducteurs torsadés connectés à des modules de fonctions diverses (liaison des différents éléments d'un micro-ordinateur, interconnexions entre plusieurs calculateurs) sur lequel circule des informations (protocole de communication « CAN » par exemple).

Calculateur. Machine de traitement d'informations susceptible d'effectuer des calculs importants (opérations arithmétiques, *logiques*...).

CAN (Controller Area Network). Protocole de communication « série » pour multiplexage standardisé (ISO, SAE) inventé par Bosch dans les années 1980, qui consiste à relier entre elles plusieurs unités de commandes (calculateurs), pour échanger en continu des informations et des données sur une liaison à 2 fils (Bus).

Capteur. Élément permettant d'associer à une grandeur physique, une grandeur électrique d'une valeur et d'une configuration adaptée.

Cartographie. Mémorisation des principaux points et paramètres de fonctionnement dans les mémoires du *calculateur*, servant de base de comparaison avec les conditions réelles enregistrées.

Centrale de commande. Appareil de traitement des signaux ou grandeurs d'entrée (information en provenance des capteurs), qui élabore des signaux de sorties (destinés aux actuateurs), en fonction des *cartographies* mémorisées et des systèmes de surveillance intégrés. (Appelés également ECU, boîtier de commande, calculateur...).

Clé d'accès. Donnée particulière, connue uniquement des personnes autorisées, donnant accès à un fichier ou à une information contenue dans une mémoire.

Code défaut. Signal codé (éclat d'une lampe par exemple), émis par le *boîtier de commande*, permettant à l'aide d'une table de conversion de retrouver une anomalie enregistrée en cours de fonctionnement.

CTN, CTP. Voir *thermistance*.

ECU (*Electronic Control* Unit). Voir *calculateur*.

Électrovalve. Valve ou soupape commandée par un électro-aimant.

Électrovanne. Vanne réglant le débit d'un fluide, commandée par un électro-aimant.

EPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory*, ou REPRONL). Mémoire morte programmable et effaçable par exposition aux rayons ultraviolets.

EPROM-Flash. Dans un calculateur Automobile, mémoire contenant les cartographies spécifiques à un moteur, un véhicule, pouvant être chargée, modifiée, recevoir une mise à jour par le réseau concessionnaire de la marque.

Hybride. Se dit d'un circuit ou boîtier associant différentes technologies.

Impulsion. Variation brusque d'une grandeur physique avec retour à la valeur initiale.

Interface. Circuit électronique intermédiaire permettant à un montage d'échanger des instructions avec un autre montage (transformation de signaux émis par l'un en signaux acceptables par l'autre).

Mémoire. Circuit susceptible de garder des informations. Il en existe plusieurs types : Mémoire vive, appelée RAM (Randoni Access Memory), librement disponible pour un logiciel en écriture et en lecture (mémoire volatile : perte de l'information après une coupure de la tension.). Mémoire morte, appelée ROM (Read Only Memory), où l'information est mise « en boîte » par le constructeur à la fabrication, et n'est disponible que pour la lecture (mémoire non volatile, même en cas de coupure de la tension).

Microprocesseur (ou CPU). Circuit hautement intégré, doté d'une organisation lui permettant d'effectuer des transferts d'informations, de les stocker et de leur appliquer les opérations arithmétiques et logiques. On caractérise un microprocesseur par la longueur du mot élémentaire que celui-ci peut traiter en un seul cycle (ex. : *8 bits, 16 bits*...).

Modem (Modulateur-démodulateur). Convertisseur numérique-analogique-numérique permettant la liaison entre ordinateurs en utilisant les lignes téléphoniques.

Multimètre. Appareil de mesure indispensable permettant la lecture précise des différentes tensions, résistances, intensités, capacités, ..., sur un circuit électronique. II existe des multimètres analogiques (déviation d'aiguille) et des multimètres numériques (affichage à cristaux liquides). La caractéristique principale est la résistance interne qui doit être la plus élevée possible (Position voltmètre).

Multiplexage. Réseau de « Bus » de données « Can », ou « Van », permettant la transmission « sérielle » de données diverses (Applications Automobiles = interconnexions de calculateurs, électronique de confort, de diagnostic, de communication mobile, de carrosserie, etc.).

Octet. Groupe de 8 chiffres binaires *(bits)*, considéré comme une seule unité d'information.

Parasite. Signal perturbant, d'origine atmosphérique ou industrielle, s'ajoutant à et venant troubler un signal propre.

Processeur. Organe capable d'effectuer le traitement complet d'une série d'informations (voir microprocesseur).

Programme. Ensemble des instructions établies dans un langage donné et permettant à un calculateur de réaliser les opérations et activités spécifiques désirées.

RAM, ROM. Voir mémoire.

Servomoteur. Moteur à courant continu et commutation électronique ou mécanique, associé à une boucle d'asservissement de position.

Surveillance intégrée. Particularité d'un système électronique permettant le contrôle permanent ou cyclique de certaines parties internes ou externes d'un système en fonctionnement. (Cette option a pour avantage la mise en mémoire éventuelle de défauts de fonctionnement, même sporadiques, qui pourront être reconnus par un autodiagnostic.)

Thermistance. Résistance variable en fonction d'une température. On distingue les thermistances :

- CTN : à coefficient de température négatif (la résistance diminue lorsque la température augmente) ;
- CTP : à coefficient de température positif (l'inverse de CTN).

Transducteur. Dispositif de conversion d'une entité physique en un équivalent électrique.

UCE (Unité Centrale Électronique). Voir « centrale de commande ».

Index

J

M

P

R

S

T

V

AUTOMOBILE

Moteurs diesels
Technologie générale

Bernard Vieux

Les progrès de la technologie, le recours à l'électronique, les normes internationales anti-pollution ont entraîné un développement et des performances considérables du moteur diesel.
Il s'agit, par exemple, des mises au point de pompes d'injection gérées par l'électronique, d'injecteur-pompe électronique ou encore de rail commun *(common rail)*...

■ L'ouvrage présente un exposé des grands principes qui président au fonctionnement des moteurs, une étude technologique des plus récents équipements conçus pour l'alimentation, l'injection, la suralimentation ... avec la présentation des différents constituants composant ces systèmes.

■ Cette nouvelle édition de l'ouvrage *Moteurs diesels Technologie générale,* entièrement réactualisée, est destinée à l'enseignement technique, mais aussi à l'ensemble des professions de l'automobile.

47 7985 6
9 782216 088584
ISBN 978-2-216-08858-4

FOUCHER
www.editions-foucher.fr